

## Aula 07: Sensores de posição empregados em determinação, navegação e controle de atitude: Sensores de Horizonte.

### Sensores de Horizonte

A orientação de uma espaçonave relativamente a Terra é de fundamental importância para a navegação espacial e para cargas úteis de satélites de comunicações, meteorológicos e de sensoriamento remoto. Para um satélite que está próximo a Terra, esta é o segundo objeto celeste mais brilhante, cobrindo até 40% do céu. A Terra apresenta-se como um extenso alvo para um sensor (3,9 sr a 500 km de altitude), comparado com as aproximações, geralmente válidas, empregadas para o Sol ( $7 \times 10^{-5}$  sr) e para as estrelas<sup>1</sup>. Conseqüentemente, apenas a detecção da presença da Terra é normalmente insuficiente para a determinação, mesmo grosseira, da atitude e quase todos os sensores são projetados para localizar o horizonte terrestre<sup>2</sup>. Os sensores de horizonte são a principal forma de determinar diretamente a orientação de uma espaçonave em relação a Terra. Eles já foram empregados em aeronaves e foram usados nos primeiros vôos tripulados norte-americanos (programas *Mercury* e *Gemini*, ver Hatcher, 1967). Nestas aulas vamos descrever os requisitos a que os sensores de horizonte devem ser submetidos, as características dos vários tipos genéricos e os princípios operacionais dos sistemas sensores de horizonte.

A localização do horizonte de um corpo possuindo atmosfera não pode ser bem definida devido ao decréscimo gradual da intensidade irradiada a partir do horizonte verdadeiro da superfície sólida. Entretanto, mesmo para um corpo que não possui atmosfera, como a Lua, por exemplo, pode ser problemático projetar um sensor de horizonte adequado, devido às variações na intensidade irradiada. Para ilustrar um caso extremo, um detetor de horizonte trabalhando na Lua, na faixa espectral entre 14 e 35  $\mu\text{m}$  do infravermelho, será submetido a uma variação de 50 vezes na radiância (120 °K a 290 °K) entre horizontes iluminado e não iluminado. Como está ilustrado na Figura 19, se a radiação integrada sobre a metade do campo de visada do sensor (FOV), na Lua fria, é justamente a *radiação de limiar* então, o erro de localização do horizonte, na Lua quente, seria a metade do FOV do sensor. Isso se deve porque o FOV, logo que adentrasse o horizonte, já estaria atingindo a radiação de limiar. Diminuir a radiação de limiar ou o FOV pode não ser possível na prática devido à baixa intensidade da radiação emitida em relação ao ruído. Então, para um detetor de horizonte lunar, é preferível escolher a região espectral visível que fornece uma intensidade de radiação suficiente com um pequeno FOV.

Satélites de comunicação, de sensoriamento remoto e de meteorologia, geralmente requerem precisão de apontamento de 0,05° a menos de um minuto de arco, que está além do estado da arte dos sensores de horizonte. Entretanto, satélites orientados pela Terra freqüentemente possuem sistemas de controle de atitude autônomos baseados nos sinais de erros de sensores de horizontes, com requisitos de precisão da ordem de 0,5° a 1,0°. Então, apesar dos atuais detectores de horizonte não atingirem os requisitos de carga útil, os requisitos de controle são facilmente alcançados e, poder-se-ia obter uma

<sup>1</sup> Betelgeuse, a estrela com o maior raio angular, subtendendo  $6 \times 10^{-14}$  sr.

<sup>2</sup> A detecção da presença de pequenos corpos planetários, tal como a Lua de uma órbita próxima a Terra, é, entretanto, suficiente para determinação grosseira da atitude.

economia significativa nos custos aumentando a precisão dos sensores de horizonte, para que possam atingir os requisitos de carga útil e de controle simultaneamente e, portanto, evitando a necessidade de se utilizar sensores de estrelas.

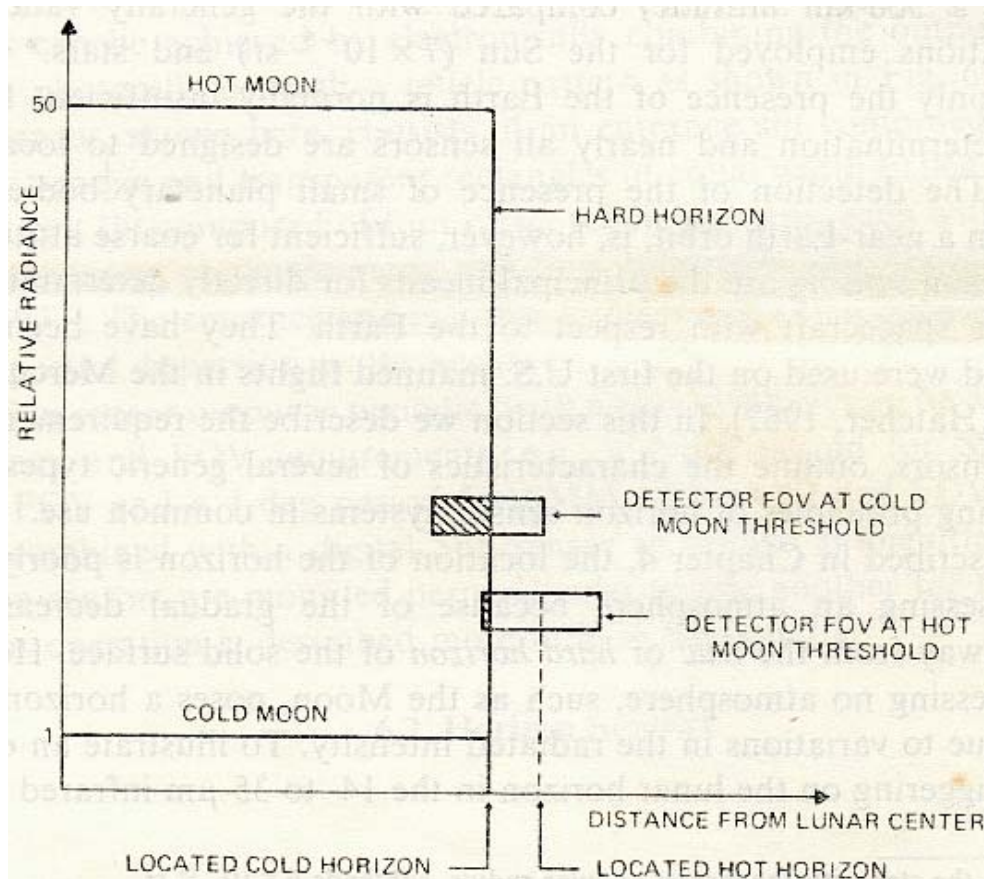


Fig. 19 – Erros de localização do horizonte devido a variações da radiação.

É sabido que a posição do horizonte terrestre é menos ambígua na região espectral próxima de  $15\ \mu\text{m}$  no infravermelho. A maioria dos sensores de horizonte agora exploram a banda estreita do  $\text{CO}_2$  que vai de  $14\ \mu\text{m}$  a  $16\ \mu\text{m}$ . A utilização da banda espectral infravermelha evita os grandes erros de atitude encontrados na *Mercury*, *Gemini* e *OGO* devido aos limiares espúrios da luz visível (albedo) de nuvens de alta altitude (Hatcher, 1967). Além do mais, a operação de um sensor de horizonte infravermelho não é afetada pela noite ou pela presença do *terminator*<sup>3</sup>. Detetores infravermelhos são menos suscetíveis, que os detetores de luz visível, à luz solar refletida pelo satélite e, portanto, evitam problemas de reflexão como àqueles ocorridos no RAE-2 (Werking, *et. al.*, 1974). Problemas de interferência com o Sol também são reduzidos no infravermelho, onde a intensidade solar é apenas 400 vezes a da Terra, comparado com 30.000 vezes no visível (Trudeau, *et. al.*, 1970). Entretanto, os sensores de albedo têm certas vantagens em relação aos sensores infravermelhos, incluindo menor custo, resposta mais rápida no

<sup>3</sup> O *terminator* é o limite entre o dia e a noite sobre um planeta ou sobre um satélite planetário.

tempo (microsegundos, para o fotodiodo empregado nos sensores visíveis versus milisegundos para o termistor empregado em muitos sensores infravermelhos) e mais alta relação sinal-ruído porque a intensidade irradiada é mais alta no visível.

A aquisição de atitude geralmente requer detecção de horizonte longe da atitude e órbita nominais da missão. Consequentemente, a versatilidade do sensor é um requisito comum de projeto. Detetores de vasto FOV, tais como os sensores solares de dois eixos, não podem definir precisamente o horizonte de uma Terra grande e relativamente obscura. Consequentemente, os sensores de horizonte freqüentemente empregam algumas formas de varrer a esfera celeste com um pequeno FOV, tipicamente 2° por 2°.

Finalmente, a capacidade de rejeição solar é importante para sensores de horizonte, particularmente para aqueles usados para controle a bordo. Sensores ou sistemas ópticos redundantes são usados para conseguir rejeição solar comparando as saídas de sistemas ópticos deslocados espacialmente. Por outro lado, a rejeição solar pode ser obtida baseada no conhecimento prévio da posição do Sol, no comprimento do pulso ou na intensidade da saída do sensor ou na saída de sensores solares construídos para esse propósito.