

Manobras Orbitais Combinadas com Laser Terrestre nas Trajetórias de Detritos Espaciais

Jorge K.S. Formiga¹

ICT/UNESP, São José dos Campos, SP,

Denilson P. S. Santos²

UNESP, São João da Boa Vista, SP,

Rodolpho V. de Moraes³

FEG/UNESP, Guaratinguetá, SP

Os eventos envolvendo detritos espaciais são cada vez mais frequentes tornando algumas regiões do espaço cada vez mais perigosas, principalmente os eventos que acontecem em órbita baixa gerando colisões mútuas. Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de uma manobra orbital considerando o efeito gravitacional e o laser terrestre quando os detritos, na faixa de 1 cm a 10 cm, viajam em órbita heliocêntrica com altitude variando entre 100 a 1000 km e fazem uma passagem próxima a Terra. A análise foi realizada através da variação de velocidade e energia após uma passagem próxima considerando um laser de pulso único com manobras assistidas por gravidade. Este estudo é importante quando estamos interessados em avaliar as características orbitais de detritos espaciais para uma melhor reentrada na atmosfera terrestre ou evitar colisões considerando a magnitude do impulso realizado pelo laser. O modelo analítico é aplicado considerando vários fatores, como fluência do laser, inclinação dos detritos e movimento relativo entre o laser e os detritos. Alguns resultados mostram que o laser pode realizar uma pequena mudança no delta V e ter uma eficiência máxima na variação de energia de 12% que pode ser acumulada e realizar a energia da reentrada. Nesse sentido, este trabalho traz à literatura um estudo geral dessa manobra, mostrando suas vantagens em relação às manobras orbitais mais tradicionais, bem como as melhores condições para evitar colisões e mitigar detritos espaciais.

Segundo [1], sabe-se que o vetor variação da velocidade de uma partícula durante à manobra é dado por ΔV , considerando apenas o efeito da gravidade, o qual ocorre devido \vec{V}_i e \vec{V}_o (Velocidade do detrito antes e depois da manobra), que pode ser assumido, $\vec{V}_i = \vec{V}_\infty^- + \vec{V}_2$ e $\vec{V}_o = \vec{V}_\infty^+ + \vec{V}_2$. A velocidade da Terra em relação a um referencial inercial é dada por $\vec{V}_2 = (0, v_2, 0)$. Durante a passagem, será aplicado um impulso devido à pressão do laser, $\Delta V_L \hat{\rho}$, onde $\hat{\rho}$ é a normal à superfície reflexiva onde descrevem o vetor detritos-terra em relação ao sistema rotativo (vetor unitário que define a direção do impulso em relação à velocidade dos detritos espaciais). Observe que ΔV_L é a magnitude do impulso apenas devido à pressão do laser, pode ser assumido

$$\Delta \vec{V}_L = \Delta V_L \begin{bmatrix} \cos(\phi + \sigma) \cos(\alpha + \beta) \\ \cos(\phi + \sigma) \sin(\alpha + \beta) \\ \sin(\phi + \sigma) \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde os ângulos α e ϕ especificam a direção do periapsis e a posição do laser terrestre. Já os ângulos σ e β especificam a atitude relativa e a posição do alvo e $\hat{\rho}$, que pode assumir valores entre

¹jorge.formiga@unesp.br

²denilson.santos@unesp.br

³rodolpho.vilhena@gmail.com

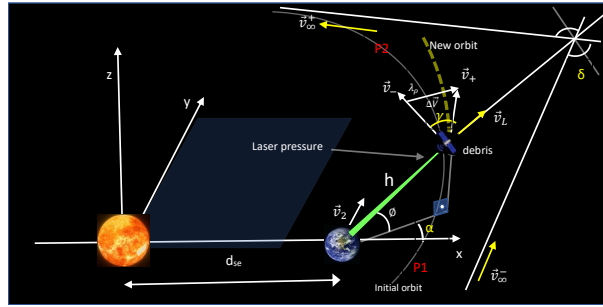


Figura 1: Características orbitais da manobra tridimensional considerando o canhão do laser.

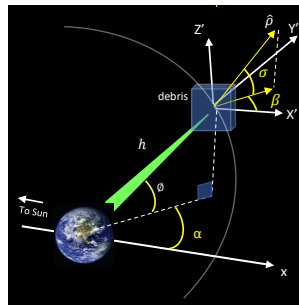


Figura 2: Posição do detrito espacial no sistema tridimensional considerando o laser.

$-\pi/2$ e $\pi/2$. As Figuras 1 e 2 mostram as variáveis envolvidas na manobra [2]. Nesta seção será considerada a incidência direta quando $\sigma = \beta = 0^\circ$.

Assim, a variação da velocidade total de detritos espaciais durante a aproximação pode ser assumida

$$\begin{aligned} \Delta V &= |\vec{V}_0 - \vec{V}_i| + |\Delta \vec{V}_L| \\ \Delta E &= E_o - E_i = \vec{V}_2 \cdot \Delta \vec{V} \end{aligned} \quad (2)$$

onde E_o e E_i são energia final e inicial, respectivamente. Uma característica importante observada é a ocorrência de perda de energia durante a aproximação com a Terra e quando o pulso do laser é considerado. Eles ocorrem quando o impulso é aplicado próximo à direção antivelocidade dos detritos espaciais. Algumas condições iniciais práticas para avaliar colisões ou capturas são consideradas. A partir dessas informações, pode-se encontrar a variação de energia e velocidade para uma manobra Swing-by combinada com a pressão do laser.

Referências

- [1] A. F. B. A. Prado e R. A. Broucke. “A classification of swing-by trajectories using the moon”. Em: **Applied Mechanics Reviews** 48 (1995), pp. 138–142. DOI: 10.1115/1.3005063.
- [2] S. Soldini, C. Colombo e J. Scott. “Solar Radiation Pressure Hamiltonian Feedback Control for Unstable Libration-Point Orbits”. Em: **Journal of Guidance, Control, and Dynamics** 4 40 (2016), pp. 1374–1389.