

DETERMINAÇÃO DE ÓRBITAS DE SATÉLITES ARTIFICIAIS DA TERRA

Maximiliano A.F. de Souza¹, Wilton S. Dias², Gabriel Hicckel³

¹UNIVAP/FEAU – Eng Aeronáutica e Espaço, Av. Shishima Hifumi, 2911 - Bairro Urbanova CEP 12244-000 São José dos Campos - SP, max22a@hotmail.com

²⁻³UNIVAP/FEAU – Astrofísica, Av. Shishima Hifumi, 2911 - Bairro Urbanova CEP 12244-000 - São José dos Campos - SP, Wilton@univap.br, hicckel@univap.br

Palavras-chave: Elementos orbitais, Astronomia, satélites

Área do Conhecimento: Engenharias; Astronomia; Mecânica Celeste

Resumo – Neste trabalho apresentamos um procedimento para determinação da órbita de satélites artificiais terrestres a partir de observação direta. Nosso objetivo foi desenvolver um método simples e didático que permita determinar a posição do satélite observado utilizando uma câmera digital comum. Com três posições observadas aplicamos o método de Gauss para determinar os elementos orbitais do satélite, que em outras palavras descrevem geometricamente a sua órbita.

Para todo o procedimento foi desenvolvido um *software* que na primeira etapa permite determinar por interpolação simples as coordenadas astronômicas do satélite e em seguida calcular os elementos orbitais que definem sua órbita.

Testes realizados com observações do Telescópio Espacial Hubble (HST) mostraram resultados satisfatórios.

Introdução

Um problema clássico em Física e Astronomia é realizar previsões de posição e velocidade futuras de um objeto. Em mecânica clássica é possível determinar completamente posições futuras com bastante precisão se conhecermos todas as forças que atuam sobre o objeto.

Em se tratando de movimentos planetários ou de satélites a mecânica celeste tem duas tarefas bastante práticas: determinar elementos orbitais a partir de observações e, o problema inverso, prever posições de objetos celestes conhecendo seus elementos orbitais. Órbitas planetárias são conhecidas com bastante precisão, porém as órbitas de corpos menores como cometas e asteróides principalmente os que são recentemente descobertos necessitam de mais observações para melhor serem determinadas.

O primeiro método prático para a determinação de órbitas foi desenvolvido por Gauss no início do século XIX. O método que recebe o nome de Gauss, requer a observação de três posições diferentes para o cômputo da órbita (ver por exemplo Moulton 1984).

Em uma abordagem matemática, as seis constantes escalares de integração, que são as componentes dos vetores posição e velocidade, que são usadas como condição de contorno na solução da equação diferencial vetorial do movimento, são traduzidas, em uma abordagem astronômica, nos seis elementos orbitais. Os seis elementos orbitais lembrados abaixo são descritos na Figura 1:

- a = semi-eixo maior
- e = excentricidade
- I = ângulo de inclinação da órbita
- T = tempo de passagem pelo periastro
- ω = ângulo argumento do periastro
- Ω = ângulo argumento do periastro

Nesse trabalho desenvolvemos um procedimento simples para determinar a órbita do Telescópio Espacial Hubble em torno da Terra. A seguir descrevemos de forma sucinta o método de observação para a obtenção das três coordenadas celestes necessárias para a determinação da órbita pelo método de Gauss.

Materiais e Métodos

A observação do HST foi obtida digitalmente de modo a poder ser tratada posteriormente com o objetivo de determinar as coordenadas celestes do HST. Nesse registro bidimensional temos o telescópio HST de deslocando entre as estrelas de fundo pelo fato de estar próximo à Terra. Sendo assim, é possível “desenhar” um sistema de coordenadas x,y (em pixels), com origem arbitrária a fim de determinar as posições x,y de cada estrela e do HST que aparecem na imagem. Note que esse processo é trivial uma vez que quase todos os programas de tratamento de imagens fornecem uma escala em pixels para a imagem.

É importante perceber que nessa imagem as estrelas servem como referência uma vez que suas coordenadas celestes (α, δ) são muito bem determinadas. Nesse trabalho utilizamos as

coordenadas das estrelas mais brilhantes observadas fornecidas pelo catálogo astrométrico Tycho2 [2].

Note que as coordenadas (x,y) são coordenadas cartesianas de uma fotografia do campo de estrelas em um instante de tempo conhecido, t_1, t_2, t_3 . Para cada estrela com coordenada (x,y) , está relacionada (α, δ) já catalogadas. Com esses dados basta uma interpolação simples para obter as coordenadas (α, δ) para o HST.

No entanto para a utilização do método de Gauss é necessário conhecer os vetores posição, ou seja, é preciso transformar converter $(\alpha, \delta)_1, (\alpha, \delta)_2$

$(\alpha, \delta)_3$ em \vec{r}_1, \vec{r}_2 e \vec{r}_3 . Aqui, não há nenhuma hipótese quanto a qualidade das observações. Por outro lado, dadas as aproximações nos desenvolvimentos em ambos os métodos, é suposto que os $(\alpha, \delta)_1, (\alpha, \delta)_2, (\alpha, \delta)_3$ não estejam demasiadamente afastados entre si, como é o caso.

A conversão para os vetores posição foi realizada seguindo os procedimentos descritos em [3].

Em seguida, com o 3 vetores posição \vec{r}_1, \vec{r}_2 e \vec{r}_3 utilizamos as equações clássicas para a determinação dos 6 elementos orbitais [1,3]. Chamamos a atenção para o fato de que para obter o instante de passagem pelo periastro (T) é utilizada a equação de Kepler (1). Trata-se de uma equação onde não se conhece previamente os valores de E e senE. O método numérico tradicionalmente empregado para obter o ângulo anomalia excêntrica (E) converge em poucas iterações fornecendo resultados satisfatórios, conforme testes de controle empregados.

$$M = n(t - T) = E - esenE \quad (1)$$

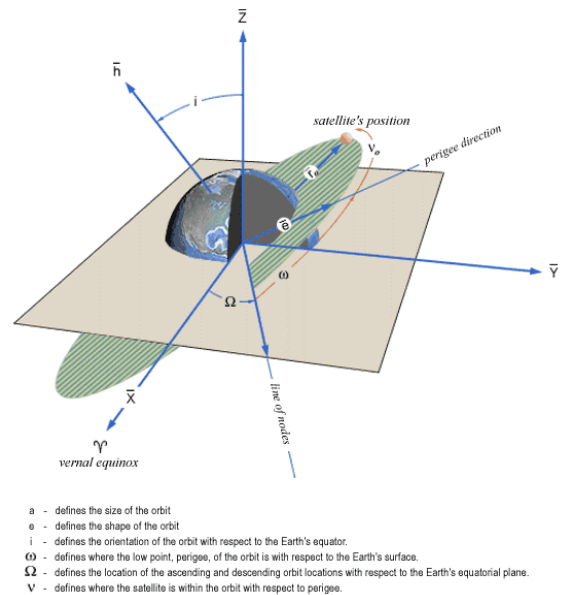


Fig 1: Órbita do satélite em torno do planeta Terra. São apresentados nessa figura os seis elementos orbitais, a, e, ω, Ω, I , que descrevem completamente a órbita.

Discussão

É importante notar que não conhecíamos previamente a distância do HST à Terra. Dessa forma não foi possível determinar o módulo dos

vetores posição \vec{r}_1, \vec{r}_2 e \vec{r}_3 . Uma maneira encontrada para solucionar esse problema foi adotar um procedimento iterativo no *software*. Após determinar os elementos orbitais com módulos dos vetores aproximados, ou seja considerando que α e δ eram geocêntricos e não topocêntricos, recalculamos as coordenadas celestes α e δ e comparamos com as observadas. O processo realiza iterações até que a diferenças nessas coordenadas (observadas – calculadas) seja mínima. Ao final tem-se então os elementos orbitais procurados.

Conclusão

Nesse trabalho implementamos um procedimento simples e didático para determinação de órbitas de satélites artificiais da Terra. Partimos de fotos digitais dos objetos para obter pelo menos três posições em sua órbita. Em seguida utilizando o método de Gauss foi possível determinar os elementos orbitais de forma a descrever geometricamente a órbita do satélite.

O procedimento foi implementado para observações realizadas do Telescópio Espacial Hubble com sucesso e o resultado para a órbita do dia 04 de junho de 2006 é apresentado.

Referências

- [1] Moulton, F. R., An Introduction to Celestial Mechanics, 1984, DOVER
- [2] ESA 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues (European Space Agency (ESA))
- [3] Assafin, M., Introdução a Mecânica Celeste, disponível em http://www.pessoal.ov.ufrj.br/massaf/cursos/astro4/introducao_mecanica_celeste.html (em 26 de julho de 2006)