

correspondente à longitude em que o satélite se encontra; utilização das equações diferenciais que relacionam o desvio de fase no Equador aos parâmetros orbitais 0 (ascensão reta do nodo descendente) e (argumento de latitude).b) Desenvolvimento e análise de um pre-processador para as estimativas autônomas a serem utilizadas como dados de entrada para o controlador, de modo a executar processos de: validação, suavização (pre-filtragem das componentes de curto período dos dados de entrada, visto que as estimativas geradas pelo sistema DIODE são estimativas da órbita osculadora do satélite) e compressão (redução de redundância) dos dados c)- Análise de procedimentos de filtragem de Kalman e de mínimos quadrados para estimação dos parâmetros de um modelo parabólico de evolução no tempo do desvio de fase no Equador.d) Desenvolvimento e análise de procedimentos de controle do desvio de fase no Equador, tendo em vista os requisitos fundamentais exigidos à um sistema de controle autônomo: baixa carga computacional e robustez. Dois tipos de procedimentos foram considerados. O primeiro considera a maximização do intervalo de tempo entre a execução de duas manobras orbitais sucessivas. O segundo considera a aplicação de correções de mesma amplitude sempre que necessário. Em uma versão aprimorada deste tipo de procedimento a amplitude de correção é escolhida de modo adaptativo às condições atmosféricas atuais.Os testes de desempenho foram executados com auxílio de estimativas reais de órbita dos satélites SPOT2 e SPOT3 (geradas por um protótipo do sistema DIODE desenvolvido em PC), além de estimativas simuladas das órbitas destes satélites. Os principais resultados, conseguiram restringir a variação do desvio de fase no Equador a uma faixa da ordem de $\pm 200\text{m}$, contra uma faixa de $\pm 3000\text{m}$ obtida com o controle de órbita atualmente executado a partir do solo para os satélites SPOT, o que mostra viabilidade do conceito de controle autônomo de órbita estudado. Perspectivas de aplicação no contexto nacional são avaliadas. Os autores agradecem à FAPESP, INPE e CNES pelo suporte fornecido por estas instituições à realização da pesquisa.

87 controle autônomo de órbita

90 b

CONTROLE DE ÓRBITA DE SATÉLITES RECORRENTES DE BAIXA ALTITUDE

Valcir Orlando & Roberto V. F. Lopes
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Avenida dos Astronautas, 1758 - J. da Granja
12227-010 - São José dos Campos - SP

Pascal Micheau
CNES - Centre National d'Études Spatiales
18, avenue Edouard Belin
31055 - Toulouse CEDEX - França

O excelente desempenho apresentado pelo sistema de rastreamento francês DORIS na missão do satélite oceanográfico TOPEX/POSEIDON, bem como nos satélites de observação da terra SPOT2 e SPOT3 motivou o CNES ao desenvolvimento de um sistema autônomo de determinação de órbita, o qual foi denominado de DIODE - "Determination Immediate d'Orbite à l'aide de mesures Doris Embarquées". Um modelo experimental deste sistema deverá ser integrado ao próximo satélite da série SPOT, o SPOT4, cujo lançamento é previsto para 1998. O principal objetivo do sistema DIODE neste satélite é permitir o fornecimento em tempo real, aos usuários do satélite, das informações orbitais necessárias ao processamento dos dados de imagens, através do envio dos dados orbitais conjuntamente com estes últimos.

Contudo, a contínua disponibilidade a bordo de um conhecimento preciso da órbita do satélite tornou atrativa a idéia de desenvolver um sistema autônomo de controle de órbita para futuros satélites de baixa altitude semelhantes ao SPOT. Este trabalho apresenta um estudo de um sistema de controle autônomo do desvio de fase no Equador (deriva em longitude) a partir de estimativas de órbita geradas por um sistema autônomo de determinação de órbita do tipo do sistema DIODE. Tratam-se de estimativas em coordenadas cartesianas da órbita osculadora do satélite, geradas à taxa de uma estimativa a cada dez segundos. Na sua versão mais recente o sistema DIODE apresentou precisões da ordem de 3 m nas estimativas das componentes de posição e de 0.01 m/s nas estimativas das componentes de velocidade.

O estudo do sistema de controle autônomo de órbita compreendeu os seguintes passos:

- a - Seleção de um método para o cálculo da deriva em longitude no Equador e de sua derivada primeira em relação ao tempo, a partir de estimativas de órbita similares àsquelas fornecidas pelo sistema DIODE. Três métodos de cálculo do desvio de fase no Equador foram analisados:
 - . utilização de propagação de órbita, a partir de cada estimativa gerada pelo sistema autônomo de restituição de órbita, de modo a determinar o instante e a longitude do próximo cruzamento com o plano equatorial;
 - . utilização de relações de geometria esférica para calcular o desvio de fase no Equador a partir do desvio de fase correspondente à longitude em que o satélite se encontra;
 - . utilização das equações diferenciais que relacionam o desvio de fase no Equador aos parâmetros orbitais Ω (ascensão reta do nodo descendente) e α (argumento de latitude).
- b - Desenvolvimento e análise de um pre-processador para as estimativas autônomas a serem utilizadas como dados de entrada para o controlador, de modo a executar processos de: validação, suavização (pre-filtragem das componentes de curto período dos dados de entrada, visto que as estimativas geradas pelo sistema DIODE são estimativas da órbita osculadora do satélite) e compressão (redução de redundância) dos dados.
- c - Análise de procedimentos de filtragem de Kalman e de mínimos quadrados para estimação dos parâmetros de um modelo parabólico de evolução no tempo do desvio de fase no Equador.
- d - Desenvolvimento e análise de procedimentos de controle do desvio de fase no Equador, tendo em vista os requisitos fundamentais exigidos a um sistema de controle autônomo: baixa carga computacional e robustez. Dois tipos de procedimentos foram considerados. O primeiro considera a maximização do intervalo de tempo entre a execução de duas manobras orbitais sucessivas. O segundo considera a aplicação de correções de mesma amplitude sempre que necessário. Em uma versão aprimorada deste tipo de procedimento a amplitude de correção é escolhida de modo adaptativo às condições atmosféricas atuais.

Os testes de desempenho foram executados com auxílio de estimativas reais de órbita dos satélites SPOT2 e SPOT3 (geradas por um protótipo do sistema DIODE desenvolvido em PC), além de estimativas simuladas das órbitas destes satélites. Os principais resultados, conseguiram restringir a variação do desvio de fase no Equador a uma faixa da ordem de $\pm 200\text{m}$, contra uma faixa de $\pm 3000\text{m}$ obtida com o controle de órbita atualmente executado a partir do solo para os satélites SPOT, o que mostra viabilidade do conceito de controle autônomo de órbita estudado. Perspectivas de aplicação no contexto nacional são avaliadas. Os autores agradecem à FAPESP, INPE e CNES pelo suporte fornecido por estas instituições à realização da pesquisa.

Geopotential Perturbations in the motion of Artificial Satellites

Edwin Wnuk

A.Mickiewicz University, Poznan, Poland

Some of contemporary applications (e.g. geophysics and geodetic applications) of artificial satellites require a satellite position on a given time moment to be on a centimeter level accuracy. To reach a such high accuracy many forces must be included in a description of the satellite motion. Among them the gravity of a central planet is the most important and the most complex one. There are two difficulties in the developing of a precise analytical theory of an artificial satellite motion: 1. Coefficients of series of spherical harmonics that describe the gravity potential of a central planet (e.g. the Earth) have to be taken up to very high degree and order (up to 70×70 or even 360×360), what means that the right sides of the equations of motions contain thousands of terms (e.g. about 5000 coefficients for the JGM-3 geopotential model). 2. Geopotential perturbations have to be calculated up the second order, in some cases up to the third order and the secular perturbations up to the fourth order.

The paper will present some selected problems of contemporary theories of artificial satellite motion in the Earth gravity field: 1. Short review of contemporary geopotential models and their accuracy, 2. Short review of contemporary theories of artificial satellite motion, 3. General form of the second order theory developed by using the Hori-Lie perturbation method that takes into account arbitrary degree and order coefficients of the geopotential, 4. The inverse transformation for calculation of mean orbital elements from osculating elements, 5. Geopotential perturbations for high order and degree harmonics, 5. Geopotential perturbations for a high eccentricity satellite orbit.