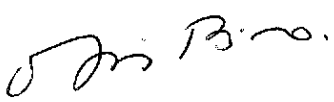
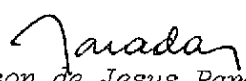


1. Publicação nº INPE-2379-PRE/104	2. Versão	3. Data Abril, 1982	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem DSE/DDO	Programa ORBAT		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) FILTRO ESTENDIDO DE KALMAN TRANSFORMAÇÃO KS ESTIMAÇÃO ADAPTATIVA DE ÓRBITA TÉCNICAS DE COMPENSAÇÃO DINÂMICA			
7. C.D.U.: 521.3:629.7.076.6			
8. Título TÉCNICAS ADAPTATIVAS E FILTRO DE KALMAN APLICADOS À DETERMINAÇÃO DE ÓRBITA DE SATÉLITES A BAIXA ALTITUDE		10. Páginas: 04	
		11. Última página: 03	
9. Autoria Ricardo Negreiros de Paiva		12. Revisada por  Atair Rios Neto	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  Nelson de Jesus Parada Diretor	
14. Resumo/Notas Este trabalho apresenta um procedimento de estimação, num espaço paramétrico, para determinação de órbitas de satélites artificiais na presença de acelerações não-modeladas. O filtro estendido de Kalman é usado com uma dinâmica dada pelo movimento de dois corpos, que é tratada num espaço paramétrico através da transformação de Kustaanheimo-Stiefel, onde se obtém uma solução analítica explícita no tempo paramétrico. Os efeitos não-modelados são aproximados por um processo de Gauss-Markov de primeira ordem, no espaço transformado, e incluídos no procedimento de estimação pela definição de um estado estendido. Com este procedimento evita-se o uso de um modelo dinâmico sofisticado e a integração numérica necessária para propagar a órbita e matriz de covariância do erro. Órbitas "verdadeiras" e observações feitas por estações de rastreamento topocêntricas são simuladas num computador digital para testar, por comparação, a qualidade dos resultados estimados.			
15. Observações Esta é uma versão resumida do trabalho, que com este título, foi apresentado no Seminário INPE-LCC, realizado de 25 a 27 de novembro de 1981, no Rio de Janeiro, RJ.			

TÉCNICAS ADAPTATIVAS E FILTRO DE
KALMAN APLICADOS À DETERMINAÇÃO DE ÓRBITA
DE SATÉLITES A BAIXA ALTITUDE

Ricardo Negreiros de Paiva

Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos, SP

RESUMO

Este artigo apresenta um procedimento de estimação de órbitas de satélites artificiais terrestres, para aplicações em tempo real. O processamento sequencial dos dados de observação é feito com o uso do filtro estendido de Kalman (Jazwinski, 1970), juntamente com um modelo de compensação dinâmica (Ingram, 1971). Uma técnica analítica é também usada para propagar tanto o estado estimado como a matriz de covariância do erro associado às estimativas.

A modelagem matemática do movimento do satélite, usada no estimador, leva em conta apenas o modelo básico de dois corpos (órbita kepleriana). Usando-se a transformação de Kustaanheimo-Stiefel, transformação KS (Stiefel, 1971), obtém-se uma solução analítica para o modelo de dois corpos no correspondente espaço paramétrico transformado. Esta solução é explícita no tempo paramétrico, e a única aproximação numérica necessária é a que relaciona o tempo físico com o paramétrico. As perturbações no movimento kepleriano são tratadas, no espaço paramétrico, como acelerações não-modeladas. Uma técnica de compensação do modelo dinâmico aproxima cada componente dessas acelerações por um processo de Gauss-Markov de primeira ordem, e elas são estimadas, juntamente com o movimento do satélite, através da definição de um estado estendido (Rios Neto, 1973). O problema de estimação é completamente transferido para o espaço paramétrico transformado, colocando-se as relações de observação em termos das variáveis desse espaço (Rios Neto, 1975).

O ruído no estado, no modelo dinâmico do estima
dor, é tratado como uma sequência gaussiana branca, ou seja, um
processo de grau entre observações. Durante o processo de estima
ção, a matriz de covariância do ruído no estado é determinada
adaptativamente por um procedimento que impede a matriz de cova
riância do erro no estado de se tornar muito pequena, e de per
der a capacidade de extrair informações das observações a serem
processadas (Kios Neto e Kuga, 1981; Kuga, 1981).

A cada passo, usando-se a transformação KS inver
sa, obtêm-se, no espaço físico, as estimativas de posição e ve
locidade do satélite, assim como uma aproximação da matriz de
covariância do erro associado.

Foram feitos testes para se verificar o comporta
mento do procedimento e a qualidade das estimativas. Foram simu
ladas, num computador digital, órbitas de satélites artificiais
terrestres a baixa altura, onde a influência do arrasto atmosfê
rico é dominante, levando-se em conta, também, as perturbações
devidas ao geopotencial e à presença do Sol e da Lua (Negreiros
de Paiva, 1980). Para calcular as perturbações devidas ao arras
to, propriedades locais da atmosfera foram consideradas usando-
se o modelo atmosférico de Jacchia (1971). Para completar a si
mulação, observações de alcance ("range") e variação de alcance
("range-rate"), corrompidas por ruído e discretas no tempo, fo
ram geradas considerando-se um número variável de estações topo
cêntricas fictícias.

A análise dos resultados e do tempo de computador
gasto em passos típicos de filtragem e predição, mostra que o
procedimento proposto é viável para aplicações em determinação
de órbita em tempo real (Negreiros de Paiva, 1981).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INGRAM, D.S. Orbit determination in the presence of unmodeled
accelerations. Austin, TX, The University of Texas at
Austin, 1971. (Applied Mechanics Research Laboratory
Report 1022)

- JACCHIA, L.G. Revised static models of the thermosphere and exosphere with empirical temperature profiles. Cambridge, MA, Smithsonian Astrophysical Observatory, 1971. (SAO Special Report nº 332).
- JAZWINSKI, A.H. Stochastic processes and filtering theory. New York, Academic, 1970. (Mathematics in Science and Engineering, 64).
- KUGA, H.K. Estimação adaptativa de órbitas aplicada a satélites a baixa altitude. Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial, São José dos Campos, INPE, ago. 1981.
- NEGREIROS DE PAIVA, R. Simulação da órbita e de observações de um satélite artificial ao redor da Terra. São José dos Campos, INPE, dez. 1980. (INPE-1955-RPE/269)
- . Determinação de órbitas de satélites artificiais através de um estimador, na presença de acelerações não-modeladas, usando a transformação KS. São José dos Campos, INPE, fev. 1981. (INPE-1998-TDL/040)
- RIOS NETO, A. The estimation of the state and the unmodeled atmospheric drag for near Earth satellite. Ph.D. Dissertation. Austin, TX, The University of Texas at Austin, 1973.
- . An estimation procedure for orbit determination, using the KS transformation. In: COSPAR-IAU-IUTAM. Satellite Dynamics Symposium held in São Paulo, June 19-21, 1974. Proceedings. New York, Springer Verlag, 1975, Session I, pp. 27-34.
- RIOS NETO, A.; KUGA, H.K. Estimação adaptativa e em tempo real de órbitas de satélites artificiais a baixa altitude. São José dos Campos, INPE, mai. 1981. (INPE-2088-RPE/318)
- STIEFEL, E.; SCHEIFELE, G. Linear and regular celestial mechanics. New York, Springer Verlag, 1971.