

# UM ESTUDO SOBRE A INTERFERÊNCIA DAS MATRIZES DE COVARIÂNCIA DO FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO NA ESTIMAÇÃO DA ATITUDE EM QUATÉRNIONS

Geovani Augusto Xavier Ribeiro<sup>1</sup> (EEL/USP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Roberta Veloso Garcia<sup>2</sup> (EEL/USP, Orientadora)  
Helio Koiti Kuga<sup>3</sup> (ETE/DMC/INPE, Orientador)

## RESUMO

A determinação da atitude de um satélite é de suma importância para a supervisão e controle do seu movimento rotacional. Nessa perspectiva, com a descrição das equações cinemáticas utilizando os quatérnions, é possível fazer uma descrição matemática da atitude sem singularidades e que não dependem de descrições geométricas para a sua definição, entretanto os quatérnions não possuem uma descrição física óbvia o que implica fazer conversões para ângulos de Euler. Neste trabalho, o objetivo foi realizar um estudo da interferência das matrizes de covariância do Filtro de Kalman Estendido (FKE) aplicado ao problema de estimação de atitude com os quatérnions. O cerne do FKE está na linearização analítica ou numérica do modelo do sistema dinâmico, sendo a solução mais usada nas últimas décadas no que tange os problemas de estimação de atitude e órbita de satélites artificiais. Portanto, a estimação de atitude com o FKE é realizada computacionalmente a partir de um vetor de estado, composto pelos quatérnions e pelo vetor de *bias* do giroscópio e um vetor de medidas, composto pelas equações de sensores que fornecem informações sobre a orientação do satélite com relação a um determinado sistema de referência. As matrizes de covariância estão associadas aos ruídos do processo ( $\mathbf{Q}$ ), da medida ( $\mathbf{R}$ ) e dos estados iniciais ( $\mathbf{P}_0$ ), portanto a compreensão da variação das matrizes de covariância no FKE auxilia a entender a sua interferência nos resultados obtidos pelo filtro. Desse modo, a análise da interferência das matrizes foi importante para inferir como os resíduos da estimação se comportam no sentido de convergência, tempo de convergência ou mesmo a divergência do filtro. Os resultados mostram que quando os valores da matriz  $\mathbf{Q}$  são divididos por 100 ou também multiplicando por 100 os valores da matriz  $\mathbf{R}$  os resíduos não tendem a zero, o que mostra uma característica de não convergência do filtro. Para os outros casos em que as matrizes  $\mathbf{Q}$  e  $\mathbf{R}$  foram multiplicadas ou divididas por 100, o FKE apresentou convergência nos resultados em que os erros da estimação relativos aos valores reais obtidos via simulador permaneceram próximos a zero. Para  $\mathbf{P}_0$ , nota-se que quando multiplica-se a matriz por 100 o FKE é totalmente impreciso, o que pode ser observado pelos erros referentes à estimação de atitude e *bias* dos giros. Sobre a estimação dos *bias*, observou-se uma dificuldade maior em apresentar a convergência dos resultados para o período e condições utilizadas neste trabalho.

---

<sup>1</sup> Aluno de Engenharia Física - **E-mail: geovani.augusto@usp.br**

<sup>2</sup> Docente da Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de Lorena - **E-mail: robertagarcia@usp.br**

<sup>3</sup> Pesquisador aposentado da Divisão de Mecânica Espacial e Controle - **E-mail: helio.kuga@inpe.br**

Palavras-chave: Filtro de Kalman Estendido. Atitude. Quatérnions. Matrizes de covariância. Extended Kalman Filter. Attitude. Quaternions. Covariance matrices.