

# ESTUDO SOBRE A INTERFERÊNCIA DAS MATRIZES DE COVARIÂNCIAS DO FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO NA ESTIMAÇÃO DA ATITUDE EM ÂNGULOS DE EULER

Bruno Gomes Cordeiro<sup>1</sup> (EEL/USP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Helio Koiti Kuga<sup>2</sup> (ETE/DMC/INPE, Orientador)  
Roberta Veloso Garcia<sup>3</sup> (EEL/USP, Co-orientadora)

## RESUMO

Visando o controle e supervisão do movimento rotacional de um satélite em órbita, faz-se necessário o estudo e análise da atitude do mesmo. Partindo desta necessidade, o Filtro de Kalman Estendido (FKE), uma das ferramentas mais utilizadas e precisas envolvendo estimação da atitude de um satélite, é aplicado neste trabalho em sistemas não-lineares envolvendo ruídos Gaussianos com o intuito de estimar o vetor de estado composto pelos Ângulos de Euler *roll* ( $\phi$ ), *pitch* ( $\theta$ ) e *yaw* ( $\psi$ ), além das três componentes do vetor *bias* do giroscópio. Assim, a partir de uma modelagem matemática aplicada em algoritmos computacionais baseada em duas fases principais: estimação e atualização, os vetores de estado são estimados em tempo real pelo FKE, tendo seus resultados comparados às medições dos sensores acoplados no satélite, a fim da correção dos valores estimados. Para que as fases de estimação e atualização sejam completas com precisão, é de suma importância um ajuste nas matrizes de covariância  $\mathbf{Q}$  (associada ao ruído do processo),  $\mathbf{P}$  (associada aos ruídos dos estados iniciais) e  $\mathbf{R}$  (associada aos ruídos das medidas dos sensores), uma vez que o FKE depende dessas variáveis. Com isso, neste trabalho é realizado o ajuste ideal destas matrizes para a realização da estimação da atitude do satélite CBERS. Tomando os resultados obtidos após os ajustes como referência, novos cálculos são feitos variando as matrizes  $\mathbf{Q}$ ,  $\mathbf{P}$  e  $\mathbf{R}$ , com o principal objetivo de analisar a interferência das mesmas na estimação do vetor de estado utilizando o FKE. Portanto, após comparações entre os resultados referenciais e os resultados obtidos com as variações das matrizes de covariância, verificou-se que as alterações na matriz  $\mathbf{Q}$  implicaram em alterações consideráveis apenas no comportamento do ângulo *yaw* e dos resíduos dos sensores, enquanto as variações nas matrizes  $\mathbf{P}$  e  $\mathbf{R}$  geraram alterações consideráveis apenas nos resíduos dos sensores. Ademais, houveram pequenas divergências nos resíduos das estimações, no comportamento da estimação dos Ângulos de Euler, no tempo de convergência, na covariância dos Ângulos de Euler e na estabilidade do FKE, onde foi observado que o aumento das matrizes  $\mathbf{Q}$ ,  $\mathbf{P}$  e  $\mathbf{R}$  aumentaram a estabilidade do processo.

Palavras-chave: Filtro de Kalman Estendido. Atitude. Ângulos de Euler. Matrizes de covariância. Extended Kalman Filter. Attitude. Euler Angles. Covariance matrices.

---

<sup>1</sup> Aluno de Engenharia Física - E-mail: [bru@usp.br](mailto:bru@usp.br)

<sup>2</sup> Pesquisador aposentado da Divisão de Mecânica Espacial e Controle - E-mail: [helio.kuga@inpe.br](mailto:helio.kuga@inpe.br)

<sup>3</sup> Docente da Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de Lorena - E-mail: [robertagarcia@usp.br](mailto:robertagarcia@usp.br)