



UM ESTUDO TEÓRICO DO FILTRO DE KALMAN COM APLICAÇÃO EM DADOS REAIS

Ana Cristina Mascarenhas Lopes^{1*}, José Mir Justino da Costa².

¹Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Estatística, Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 6200, Coroado I, 69080-900, Manaus AM, Brasil.

* acml.contato@gmail.com, zemir@ufam.edu.br

Palavras-Chave: Previsão, Filtro de Kalman

Introdução

Nas últimas décadas, a tecnologia avançou bastante, trazendo o desafio de entender e controlar sistemas cada vez mais complexos. Muitas vezes, esses sistemas têm incertezas e ruídos e isso dificulta na obtenção de informações precisas. Por isso, surgiu a necessidade de criar métodos que consigam integrar previsões matemáticas com medições feitas na prática de forma confiável. Uma das ferramentas mais utilizadas para desempenhar essa tarefa é o Filtro de Kalman [1]. se tornou um recurso muito eficiente para esse tipo de tarefa. O Filtro é um algoritmo recursivo que estima o estado de um sistema combinando o modelo teórico com os dados observados. Ele funciona basicamente em duas etapas: a predição, que faz uma estimativa inicial, e a correção, que ajusta essa estimativa com base nas novas informações. Dessa forma, ele ajuda a reduzir erros e a tornar as estimativas mais confiáveis. Por ser simples de entender e eficiente no processamento, o método acabou sendo amplamente utilizado na ciência e na tecnologia. Na engenharia mecânica e térmica, ela é importante para estudar transferência de calor e processos que mudam com o tempo. Como esses processos envolvem variáveis que variam ao longo do tempo, eles se beneficiam bastante de técnicas de estimativa mais robustas. Assim, o objetivo deste trabalho é entender melhor como essa ferramenta pode ser útil na prática em um problema de aumento de temperatura.

Material e Métodos

Para realização deste trabalho foram utilizados dados simulados do aumento de temperatura em um cilindro maciço de cobre (Figura 01) [2,3]. Afim de verificar o quão bem ele consegue estimar o estado do sistema ao longo do tempo, utilizamos técnicas estatísticas de modelagem de espaço de estados. Em seguida foi usado o Filtro de Kalman para estimar a trajetória real da temperatura com base nas observações ruidosas.

A metodologia envolveu três etapas:

1. Modelagem do sistema
2. Implementação do filtro
 - 2.1 Predição
 - 2.2 Atualização
3. Avaliação dos resultados

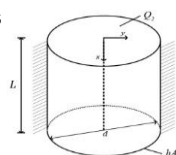


Figura 01 - Esboço do cilindro usado para as medidas de temperatura

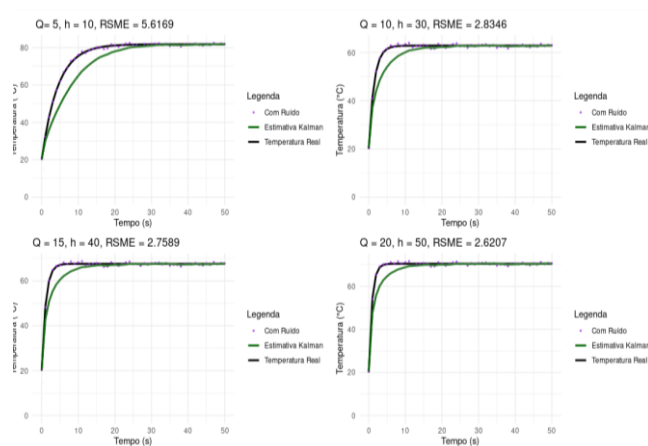


Figura 02 - Filtro de Kalman aplicado em diferentes dados gerados pelo modelo Físico de variação de temperatura em um cilindro maciço de cobre.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do Filtro de Kalman aos dados simulados de temperatura mostraram que o algoritmo foi capaz de acompanhar com precisão as mudanças dinâmicas do sistema, mesmo diante de medições afetadas por ruído. Observou-se que, durante o início da fase transiente, o filtro conseguiu ajustar rapidamente suas estimativas, acompanhando de perto a evolução da temperatura do cilindro. Na fase estacionária, a trajetória estimada pelo filtro permaneceu estável e próxima dos valores reais, evidenciando a robustez do método.

Apesar de um leve atraso na resposta do filtro ao final da fase transiente — devido à rapidez do aumento de temperatura —, o algoritmo conseguiu compensar esse desvio conforme o sistema atingiu a estabilidade térmica. A análise dos valores da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) reforçou a eficiência do método, pois os erros entre as estimativas e os valores simulados permaneceram baixos ao longo do experimento. Esses resultados destacam o potencial do Filtro de Kalman para aplicações onde a precisão na estimativa de estados é fundamental, especialmente em sistemas sujeitos a ruídos de medição.

Conclusões

O estudo teórico do Filtro de Kalman mostrou que essa técnica é bastante eficiente para estimar os estados de sistemas físicos que sofrem com ruídos. Mesmo com a indisponibilidade e usar dados reais, isso não comprometeu a análise, que se manteve alinhada com os objetivos do

Resultados e Discussão

projeto. No geral, o trabalho reforça que o Filtro de Kalman é uma ferramenta forte e útil para problemas de engenharia e modelagem matemática.

Agradecimentos

Agradeço ao Programa PIBIC/UFAM e ao CNPq pelo apoio institucional ao desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

[1] KALMAN, R. E. *A new approach to linear filtering and prediction problems. Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering*, v. 82, n. 1, p. 35–45, 1960.

[2] ZHANG, X., Liang, H., Feng, J., & Tan, H. (2022). Kalman filter based high precision temperature data processing method. *Frontiers in Energy Research*, 10, 832346

[3] RIBEIRO, P.; ALMEIDA, V. *Aplicação do filtro de Kalman na estimação de trajetórias de robôs móveis. Revista de Engenharia de Controle*, v. 24, n. 3, p. 123–130, 2019. Disponível em: <https://www.recontrole.com.br/>. Acesso em: 13 out. 2025.