

# *Design and Implementation of a Real Time Attitude Estimation System with Low Cost Sensors*

Roney D. Silva<sup>1</sup>   Dra. Heloise A. Fazzolari<sup>2</sup>   Dr. Diego P. F. Correa<sup>3</sup>

Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS)  
Santo André, Brazil.

23-26 de Novembro de 2020



[roney.d@ufabc.edu.br](mailto:roney.d@ufabc.edu.br)

[heloise.fazzolari@ufabc.edu.br](mailto:heloise.fazzolari@ufabc.edu.br)

<sup>3</sup>[diego.ferruzzo@ufabc.edu.br](mailto:diego.ferruzzo@ufabc.edu.br)



# Sistema de estimação de atitude

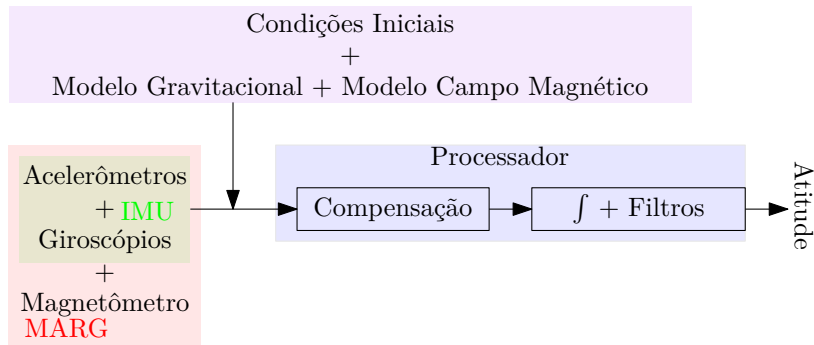


Figura 1: Sistemas de coordenadas e campos inerciais

- Calibração e compensação
- Demonstrar a aplicabilidade de um algoritmo atual capaz de fornecer atitude em “tempo real”.
- Obter dados do sensores:
  - Força específica ;
  - Velocidade angular ;
  - Direção do campo magnético local.



- Calibração e compensação
- Demonstrar a aplicabilidade de um algoritmo atual capaz de fornecer atitude em “tempo real”.
- Obter dados do sensores:
  - Força específica ;
  - Velocidade angular ;
  - Direção do campo magnético local.
- Integrar
  - IMU
    - MPU-6050, MPU-6000, MPU-9250, CJMCU-20948
  - Microcontroladores;
    - Arduino, ESP32, ESP8266, Raspberry, etc
  - PC (telemetria)
    - Bluetooth, WiFi, ESP-NOW



- Erros comuns em sensores MEMS<sup>4</sup>

- Bias
- Fator de escala

- Desalinhamento
- Deriva térmica
- Erro de quantização

**Acelerômetro** – O erro de desalinhamento  $\mathbf{M}_d$ , fatores de escala  $\mathbf{M}_{FS}$  e o *bias*  $\mathbf{b}$

$$\mathbf{a}_c = \mathbf{M}_d \mathbf{M}_{FS} (\mathbf{a}_m - \mathbf{b}) \quad (1)$$



<sup>4</sup>*Micro-Electro-Mechanical System* (Sistemas microeletromecânicos)

- Erros comuns em sensores MEMS<sup>4</sup>

- Bias
- Fator de escala

- Desalinhamento
- Deriva térmica
- Erro de quantização

**Acelerômetro** – O erro de desalinhamento  $\mathbf{M}_d$ , fatores de escala  $\mathbf{M}_{FS}$  e o *bias*  $\mathbf{b}$

$$\mathbf{a}_c = \mathbf{M}_d \mathbf{M}_{FS} (\mathbf{a}_m - \mathbf{b}) \quad (1)$$

**Magnetômetro** – O *bias*  $\mathbf{b}$ , e a matriz  $\mathbf{S}$  ([AMORIM, 2012](#); [KUNCAR et al., 2016](#))

$$\mathbf{m}_c = \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{m}_m - \mathbf{b}) \quad (2)$$



<sup>4</sup>Micro-Electro-Mechanical System (Sistemas microeletromecânicos)

- Erros comuns em sensores MEMS<sup>4</sup>

- Bias
- Fator de escala

- Desalinhamento
- Deriva térmica
- Erro de quantização

**Acelerômetro** – O erro de desalinhamento  $\mathbf{M}_d$ , fatores de escala  $\mathbf{M}_{FS}$  e o *bias*  $\mathbf{b}$

$$\mathbf{a}_c = \mathbf{M}_d \mathbf{M}_{FS} (\mathbf{a}_m - \mathbf{b}) \quad (1)$$

**Magnetômetro** – O *bias*  $\mathbf{b}$ , e a matriz  $\mathbf{S}$  (AMORIM, 2012; KUNCAR et al., 2016)

$$\mathbf{m}_c = \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{m}_m - \mathbf{b}) \quad (2)$$

**Giroscópio** –  $\mathbf{b}_{giro}$

$$\mathbf{b}_{giro} = \frac{\sum_{i=0}^N b \omega}{N \cdot f_{giro}} \quad (3)$$

$$\omega_c = f_{giro} \cdot (\omega_m - \mathbf{b}_{giro}) \quad (4)$$

<sup>4</sup>Micro-Electro-Mechanical System (Sistemas microeletromecânicos)

- AQUA – *Algebraic Quaternion Algorithm* (VALENTI et al., 2016)
- Filtro de Kalman Linear
  - Equações de propagação

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1}^+ \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{A}_k \mathbf{P}_{k-1}^+ \mathbf{A}_k^\top + \mathbf{Q}_k \quad (6)$$

- Equações de atualização

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k^- \mathbf{C}_k^\top (\mathbf{C}_k \mathbf{P}_k^- \mathbf{C}_k^\top + \mathbf{R}_k)^{-1} \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k^+ = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - \mathbf{C}_k \hat{\mathbf{x}}_k^-) \quad (8)$$

$$\mathbf{P}_k^+ = (\mathbb{I}_N - \mathbf{K}_k \mathbf{C}_k) \mathbf{P}_k^- \quad (9)$$





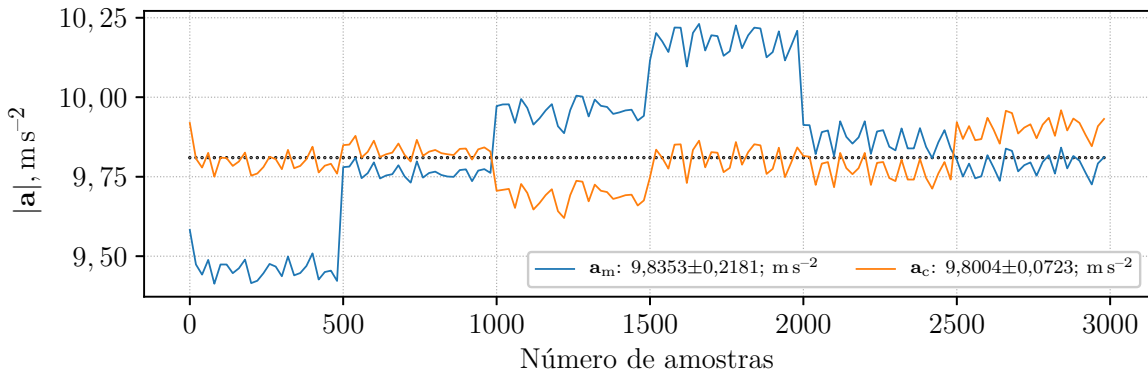


Figura 2: Resultados da calibração do acelerômetro

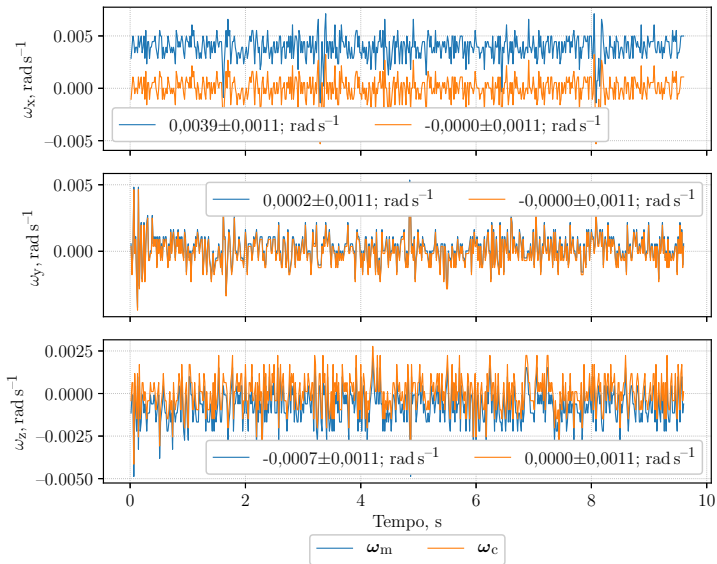


Figura 3: Resultado da calibração do giroscópio

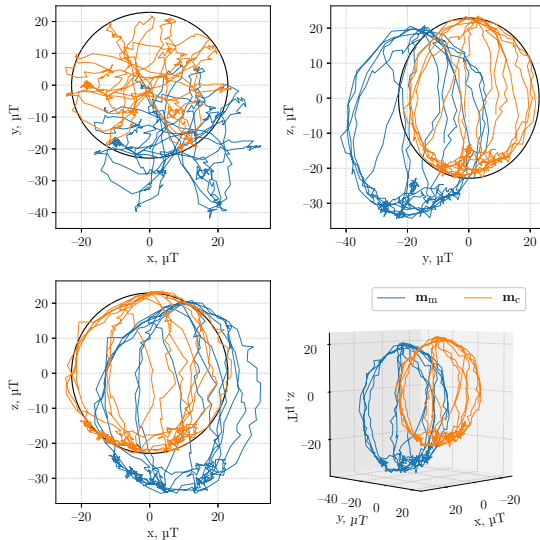


Figura 4: Representação tridimensional das medidas do magnetômetro

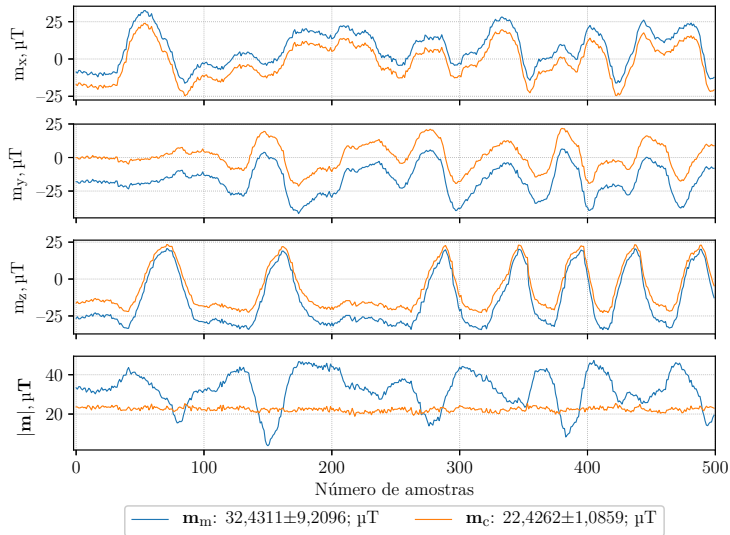


Figura 5: Comparativo das medidas  $m_m$  e  $m_c$

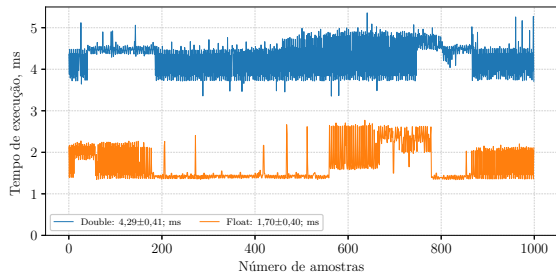


Figura 6: Tempo de execução

Biblioteca Eigen<sup>a</sup> de Álgebra Linear para C++.

<sup>a</sup>[www.eigen.tuxfamily.org](http://www.eigen.tuxfamily.org)

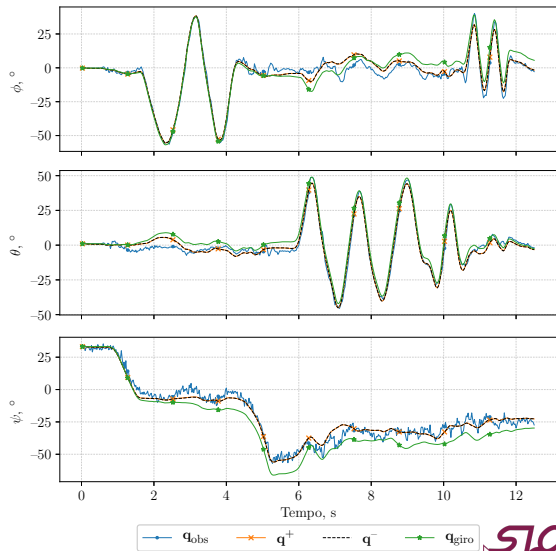


Figura 7: Atitude estimada

- Estimar o *bias* do giroscópio;
- Implementar um filtro de Kalman multiplicativo no lugar de um filtro aditivo.






# Muito Obrigado

- Projeto no GitLab : <https://gitlab.com/roneydua/plataformastrapdown>
- Agradecemos ao curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFABC



- Este estudo foi financiado parcialmente pela CAPES



-  AMORIM, J. de. **Estudo e aplicação de algoritmos computacionais para a calibração de magnetômetros**. 2012. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal do ABC, Santo André.
-  KUNCAR, A.; SYSEL, M.; URBANEK, T. Calibration of Triaxial Accelerometer and Triaxial Magnetometer for Tilt Compensated Electronic Compass. **Springer International Publishing**, p. 45–52, 2016. DOI: [10.1007/978-3-319-33389-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-33389-2_5).
-  VALENTI, R. G.; DRYANOVSKI, I.; XIAO, J. A Linear Kalman Filter for MARG Orientation Estimation Using the Algebraic Quaternion Algorithm. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, Institute of Electrical e Electronics Engineers (IEEE), v. 65, n. 2, p. 467–481, fev. 2016. DOI: [10.1109/TIM.2015.2498998](https://doi.org/10.1109/TIM.2015.2498998).