

SISTEMA EMBARCADO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE VOO EM TEMPO REAL

Lara Melanie Bastos de Moraes
Prof. Dr. Glauco Caurin

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Brasil
lara.moraes@usp.br

Objetivos

Este trabalho de pesquisa visa o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para monitoramento da orientação de voo de uma aeronave, utilizando sensores inerciais e telemetria. O projeto é fundamentado na implementação do módulo Colibri iMX6DL da Toradex e do sensor MPU6050, que são responsáveis pela coleta e controle dos dados de orientação, além de um módulo de telemetria para comunicação. O desenvolvimento do sistema foi estruturado em três etapas principais: seleção dos componentes de hardware, aprendizado e configuração inicial dos sistemas, e aplicação do código para a coleta e processamento dos dados.

Métodos e Procedimentos

A primeira etapa do projeto envolveu a seleção e integração dos componentes de hardware essenciais. O sensor MPU6050[1] foi escolhido devido à sua capacidade de fornecer dados de aceleração e velocidade angular, fundamentais para o cálculo dos ângulos de Euler e, consequentemente, para o monitoramento preciso da posição de voo. Para garantir a robustez e a infraestrutura necessárias para o sistema embarcado, foram empregados o módulo Colibri iMX6DL[2] da Toradex e a Colibri Evaluation Board[3], que se mostraram ideais para lidar com a complexidade do projeto.

Com a definição dos componentes de hardware, procedeu-se à implementação de uma Device Tree Overlay (DTO), que possibilitou ao sistema operacional reconhecer e utilizar o sensor MPU6050 de maneira eficaz. Esta configuração assegurou a integração adequada do sensor ao sistema, permitindo a coleta precisa dos dados de voo. Subsequentemente, o projeto avançou para a configuração do sistema de telemetria, essencial para a comunicação em tempo real

dos dados coletados durante o voo. A DTO foi ajustada para incluir o driver do módulo Wi-Fi TL-WN821N[4], garantindo a transmissão estável e eficiente das informações captadas pelo sensor.

Na etapa final do projeto, o foco foi a estruturação do código responsável pela leitura dos dados brutos fornecidos pelo sensor, a calibração dos sensores e o cálculo dos ângulos de Euler. A calibração manual do MPU6050 foi realizada para assegurar que o acelerômetro e o giroscópio estivessem corretamente ajustados, garantindo que os dados lidos refletissem com precisão as condições reais de movimento.

Resultados

O sistema desenvolvido demonstrou a capacidade de coletar dados precisos sobre a orientação da aeronave, utilizando os ângulos de Euler para descrever a rotação da aeronave em torno dos três eixos ortogonais: rotação (*roll*), arfagem (*pitch*) e guinada (*yaw*). A configuração dos componentes do sistema está ilustrada na Figura 1.



Figura 1: Hardware acoplado

O sucesso do projeto pode ser atribuído a

duas etapas críticas: a implementação da Device Tree Overlay (DTO) e a calibração do sensor. Na primeira etapa, a implementação da DTO permitiu a comunicação eficaz com o sensor através do barramento I²C configurado. Os dados brutos obtidos após essa configuração são apresentados em 2. Além disso, o módulo Wi-Fi foi ativado para garantir a transmissão contínua e eficiente dos dados, assegurando que o sistema embarcado estivesse plenamente capacitado para a coleta de dados de voo em tempo real, atendendo assim aos requisitos estabelecidos para o projeto.

```
# ls /sys/bus/i2c/devices/3-0068/driver/iio\:device1
current_timestamp_clock    in_accel_y_raw          in_anglvel_y_calibb
in_accel_matrix            in_accel_z_calibbias   in_anglvel_y_raw
in_accel_mount_matrix     in_accel_z_raw          in_anglvel_z_calibb
in_accel_scale             in_anglvel_mount_matrix in_anglvel_z_raw
in_accel_scale_available  in_anglvel_scale        in_gyro_matrix
in_accel_x_calibbias     in_anglvel_scale_available in_temp_offset
in_accel_x_raw             in_anglvel_x_calibbias  in_temp_raw
in_accel_y_calibbias     in_anglvel_x_raw          in_temp_scale
```

Figura 2: Dados Brutos do Sensor MPU6050

Na segunda etapa, foram realizadas múltiplas leituras para a calibração dos sensores, com o intuito de determinar e ajustar os offsets do acelerômetro e do giroscópio. Este processo de calibração, documentado em 3, foi essencial para compensar as variações nas leituras subsequentes, garantindo a precisão dos dados de orientação coletados pelo sistema. A calibração meticulosa assegurou que as medições refletissem com precisão as condições reais de movimento da aeronave.

```
def calibrate_sensors(sensor_paths, num_samples=100):
    accel_offsets = np.zeros(3)
    gyro_offsets = np.zeros(3)

    for _ in range(num_samples):
        accel_readings = read_sensors(sensor_paths['accel'], 2048.0)
        gyro_readings = read_sensors(sensor_paths['gyro'], 16.4)

        accel_offsets += np.array(accel_readings)
        gyro_offsets += np.array(gyro_readings)

        time.sleep(0.01)

    accel_offsets /= num_samples
    gyro_offsets /= num_samples

    return accel_offsets, gyro_offsets
```

Figura 3: Determinação dos offsets

Conclusões

O desenvolvimento do sistema embarcado para aquisição e comunicação de dados de voo envolveu desafios técnicos substanciais, os quais foram superados por meio de uma abordagem

meticulosa e detalhada. Esse processo proporcionou oportunidades significativas de aprendizado e crescimento profissional. O projeto permitiu uma compreensão mais aprofundada das complexidades associadas à integração de hardware e software em sistemas embarcados, preparando-nos melhor para enfrentar desafios futuros com maior preparo e eficiência.

A qualidade dos componentes fornecidos pela Toradex desempenhou um papel crucial no sucesso do projeto. Apesar da complexidade inicial, que demandou um esforço considerável para plena compreensão e utilização, os componentes se mostraram fundamentais para a realização dos objetivos estabelecidos. As lições aprendidas ao longo deste projeto servirão como base sólida para futuros empreendimentos na área de sistemas embarcados e monitoramento de dados de voo.

Agradecimentos

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Dinâmica de Voo e Controle do Departamento de Engenharia Aeronáutica da Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

Referências

- [1] MPU6050 DATASHEET. Disponível em: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2023;
- [2] COLIBRI IMX6 DATASHEET. Disponível em: <https://docs.toradex.com/102075-colibri-imx6-datasheet.pdf>. Acesso em: 5 out. 2023;
- [3] COLIBRI EVALUATION BOARD DATASHEET. Disponível em: <https://docs.toradex.com/102284-colibri-evaluation-board-datasheet.pdf>. Acesso em: 5 set. 2023;
- [4] TL-WN821N USER GUIDE. Disponível em: [https://static.tp-link.com/res/down/doc/TL-WN821N\(UN\)_V4_UG.pdf](https://static.tp-link.com/res/down/doc/TL-WN821N(UN)_V4_UG.pdf). Acesso em: 1 mar. 2024