

Análise do Sensor MPU-6050: Acelerômetro e Giroscópio

Nathan Spínola Zeidan
Universidade de Brasília-UnB
180025864
180025864@aluno.unb.br

João Vítor da Silva Fonseca
Universidade de Brasília-UnB
180113739
180113739@aluno.unb.br

I. REPOSITÓRIO

O repositório contendo os códigos utilizados para a execução deste projeto pode ser acessado através do seguinte link no GitHub: [https://github.com/NathanSpinola00/Instrumenta-o-Eletr-nica—UnB/tree/main].

II. INTRODUÇÃO

Os sensores giroscópio e acelerômetro são dispositivos inerciais que medem a orientação e aceleração em três dimensões. O giroscópio registra taxas de rotação angular em cada eixo, enquanto o acelerômetro avalia as forças resultantes, incluindo a aceleração gravitacional e linear.

Os dados desses sensores possibilitam rastrear a posição e orientação de um objeto em tempo real, podendo ser combinados com outros sensores, como o de campo magnético, para determinar a orientação em relação ao campo magnético da Terra.

Esses sensores desempenham um papel crucial em diversas aplicações, incluindo jogos, navegação, drones e veículos autônomos. Eles permitem que dispositivos eletrônicos capturem e interpretem o movimento físico, como no controle de personagens em jogos.

Resumidamente, os sensores giroscópio e acelerômetro são essenciais em dispositivos eletrônicos modernos, possibilitando a coleta de dados para um controle preciso em três dimensões, tornando-se ainda mais valiosos quando combinados com outros sensores em diversas aplicações.

A. Teoria Geral da Instrumentação

A instrumentação eletrônica desempenha um papel fundamental na medição de uma ampla variedade de grandezas físicas, desde as mais simples, como temperatura e velocidade, até aplicações complexas, como veículos autônomos. Essa área de conhecimento é essencial para monitorar, pesquisar e controlar sistemas e processos.

Embora muitas vezes passem despercebidos, os princípios da instrumentação eletrônica estão presentes em nossa vida cotidiana, seja ao medir a temperatura, pesar alimentos, monitorar a velocidade do trânsito por radares, ou no desenvolvimento de veículos autônomos.

Para projetos complexos, como veículos autônomos, é crucial medir diversas variáveis que influenciam seu funcionamento, como velocidade e orientação. A base de toda instrumentação é a medição, um procedimento experimental para determinar o valor instantâneo de uma grandeza física e expressá-lo de acordo com o sistema internacional de medidas (SI).

O aprendizado na instrumentação eletrônica é prático, pois a teoria sozinha não é suficiente. A compreensão real da instrumentação ocorre ao realizar medições com sensores, dispositivos capazes de captar e responder a estímulos.

Este relatório concentra-se na medição de duas grandezas específicas: aceleração, com o uso do acelerômetro, e momento angular, com o giroscópio. Abordaremos em detalhes o processo de medição dessas grandezas, com destaque para o sensor MPU-6050, que desempenha um papel crucial neste contexto.

B. Funcionamento do acelerômetro

Um acelerômetro é um dispositivo que mede a variação de velocidade de um objeto, seja linear ou angular, através da movimentação de massas em relação a sistemas de molas. Existem dois tipos principais de acelerômetros: os piezoelétricos, que geram energia elétrica ao sofrerem deformação mecânica, e os capacitivos, que utilizam placas paralelas para formar um capacitor. Quando a massa se move em relação a essas placas, a alteração na distância entre elas é medida e convertida em um sinal elétrico, que pode ser processado para determinar a aceleração.

Os acelerômetros são amplamente empregados em diversas aplicações, como em smartphones, sistemas de controle de estabilidade, navegação inercial e muito mais. Eles são capazes de medir acelerações com alta precisão e velocidade suficiente para monitorar movimentos e vibrações em tempo real.

O MPU-6050 é um acelerômetro do tipo capacitivo do sistema MEMS (Micro-Electro-Mechanical System). Ele é capaz de operar em sistemas sujeitos a acelerações na faixa de 2g, 4g, 8g e 16g.

C. Funcionamento do giroscópio

O giroscópio é um dispositivo mecânico que utiliza o princípio da conservação do momento angular para medir a rotação ou orientação de um objeto. Ele consiste em um rotor

que gira em alta velocidade em torno de um eixo, mantido em suspensão por um conjunto de anéis e suportes.

Quando o giroscópio é colocado em movimento, o rotor começa a girar e, devido à inércia ele tende a manter sua posição no espaço, ou seja, embora o objeto em que o giroscópio esteja anexado se mova ou mude de direção o seu rotor continuará a girar na mesma direção e com a mesma velocidade relativa ao espaço, mantendo assim a sua posição.

O movimento do rotor cria um efeito de precessão, onde o eixo do rotor muda de direção em resposta a forças aplicadas ao giroscópio. Esse efeito é usado para medir a rotação do objeto em que o giroscópio está anexado.

Os giroscópios são dispositivos precisos e confiáveis tanto que sua aplicação varia desde a utilização em sistemas como a navegação inercial, estabilização de câmeras e controle de videogames até mesmo aviões, submarinos, foguetes.

O giroscópio presente na MPU-6050 utiliza o efeito Coriolis para medir a velocidade angular. Ele possui uma massa de prova suspensa em um suporte flexível que pode se mover em várias direções. Quando o dispositivo gira, a massa de prova também se desloca devido ao efeito Coriolis. Esse deslocamento é detectado por sensores internos que convertem o movimento em um sinal elétrico proporcional a velocidade angular. Esse giroscópio também permite determinar a orientação e movimento do dispositivo nos três eixos. As faixas de operação desse giroscópio são em torno de 250°/s, 500°/s, 1000°/s e 2000°/s.

III. DESENVOLVIMENTO

A. Embarcados

Para a realização das medições, empregaremos um Arduino Uno em conjunto com o sensor MPU-6050, o qual integra um giroscópio, um acelerômetro e um termômetro em seu interior.

O objetivo final do projeto é efetuar a leitura dos valores obtidos por meio do giroscópio e do acelerômetro, sendo o termômetro excluído do escopo. A MPU-6050 é equipada com oito pinos, desempenhando funções específicas:

- VCC (Voltage Common Collector): Pino de alimentação.
- GND (Ground): Pino de aterramento.
- SCL (Serial Clock): Pino do relógio serial, responsável por sincronizar a transferência de dados entre o sensor e o microcontrolador.
- SDA (Serial Data): Pino de dados serial, utilizado para transmitir informações entre o sensor e o microcontrolador. É por meio deste pino que as informações relativas à aceleração e velocidade angular são transmitidas.
- XDA (Accelerometer Disabled): Este pino possibilita a desativação do acelerômetro.
- XCL (Local Clock): Utilizado para fornecer um relógio local ao sensor.
- ADO (I2C Address): Empregado para definir o endereço I2C do sensor.
- INT (Interrupt): Serve para gerar interrupções no microcontrolador sempre que eventos específicos ocorrem.

É possível identificar os pinos na figura 1

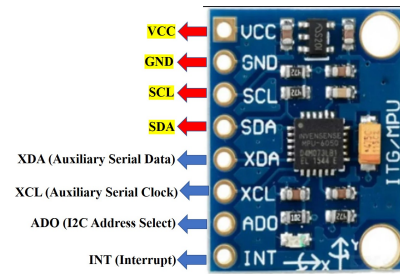


Fig. 1. MPU-6050

O esquemático do circuito pode ser observado na figura 2 gerada pelo software Proteus. Seguindo o recomendável pela fabricante, o sensor será alimentado por uma tensão de 3.3 V

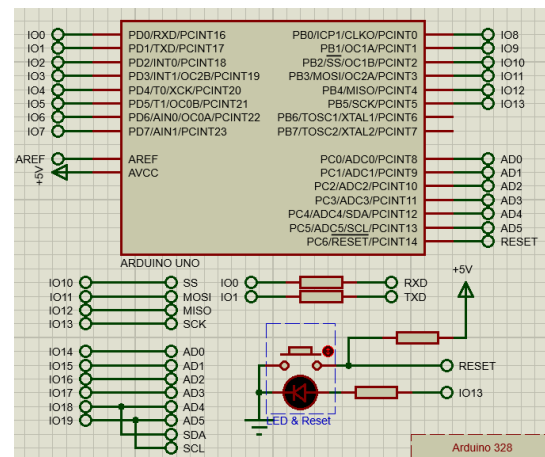


Fig. 2. Esquemático gerado através do software Proteus

Após a montagem do circuito, prosseguiu-se com a programação do código por meio do software de desenvolvimento do Arduino, o Arduino IDE. O código criado está acessível para revisão no repositório mencionado: [LINK REPOSITÓRIO].

Uma imagem do circuito montado pode ser observada na figura 3 :

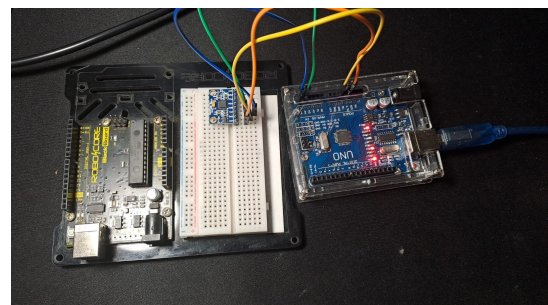


Fig. 3. Circuito montado

B. Extração de dados e resultado

Utilizando a IDE do Arduino na versão 1.8.19, desenvolvemos um código que estabeleceu comunicação com o

MPU-6050, permitindo a extração e exibição dos dados de aceleração e velocidade angular do sensor no computador. Para obter os dados de aceleração em unidades de gravidade (g), realizamos a conversão dividindo o valor bruto lido pelo acelerômetro por 16384, conforme especificado no datasheet, que descreve a sensibilidade do acelerômetro como sendo de 16384 LSB por unidade de gravidade (g).

$$Valor no Monitor Serial = \frac{Valor Bruto Lido}{16384} = \frac{LSB}{g} = (g) \quad (1)$$

Para o giroscópio, realizamos uma conversão dos valores para graus por segundo (grau/s) dividindo o valor bruto lido pelo giroscópio por 131. Isso se baseia nas especificações do datasheet, que indicam uma sensibilidade de 131 LSB por grau por segundo (grau/s) para a configuração de escala selecionada em AFS SEL=0 e FS SEL=0. Essas configurações correspondem, respectivamente, a $\pm 2g$ e ± 250 graus/s, como detalhado nas tabelas I e II.

$$Valor no Monitor Serial = \frac{Valor Bruto Lido}{131} = \frac{gaus}{s} \quad (2)$$

Conseguimos visualizar os dados de duas maneiras: no Serial Monitor, em formato de valores numéricos, e no Serial Plotter, onde foram gerados gráficos. Para uma análise mais clara, os resultados foram divididos em duas partes. Inicialmente, coletamos os dados com o sensor MPU6050 em repouso e, posteriormente, realizamos a mesma coleta com o sensor em movimento, resultando nos seguintes dados:

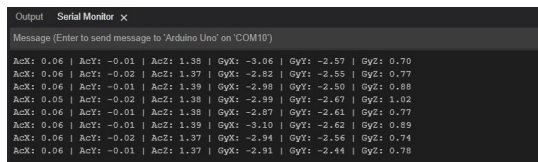


Fig. 4. Valores de medição do acelerômetro e giroscópio

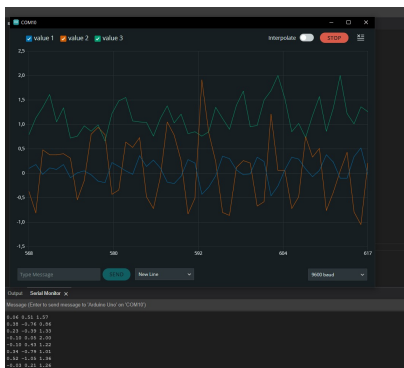


Fig. 5. Gráfico Acelerômetro

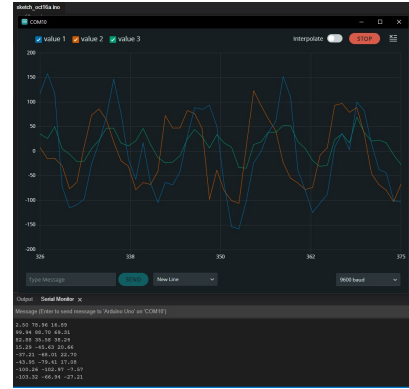


Fig. 6. Gráfico Giroscópio

IV. CONCLUSÃO

Através da implementação do código em linguagem C no Arduino, utilizando o software Arduino IDE, conseguimos visualizar os dados de aceleração e velocidade angular fornecidos pelo sensor MPU-6050, após realizar a conversão para as unidades de medida desejadas. Durante o período em que o sensor permaneceu em repouso, observou-se uma variação mínima nos valores do acelerômetro e do giroscópio, que pode ser atribuída a ruídos externos. Embora uma possível solução para esse problema envolva a implementação de filtros para reduzir essa variação no estado de repouso, a magnitude dessa variação é insignificante e não afeta o funcionamento do projeto.

Por outro lado, ao movimentar o sensor, tanto o acelerômetro quanto o giroscópio registraram variações que correspondiam aos movimentos realizados, resultando em alterações nos valores registrados em cada um dos eixos. Essa capacidade de capturar e transmitir com precisão as variações nas grandezas medidas demonstra a eficácia do sensor MPU-6050 no contexto da instrumentação eletrônica.

REFERENCES

- [1] H. Kopka and P. W. Daly, *A Guide to L^AT_EX*, 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.
- [2] Diaz, C. P. O. (2023). Introdução à Instrumentação Eletrônica [2023/2]. Universidade de Brasília (UnB). Curso: Instrumentação Eletrônica para Engenharia.
- [3] Microcontrollers Lab. MPU6050 Arduino Display Values on OLED. Página com guia completo. Disponível em: <https://microcontrollerslab.com/mpu6050-arduino-display-values-oled/>. Acesso em: 12 de outubro de 2023.

TABLE I
TABELA COM INFORMAÇÕES DO ACELERÔMETRO DA MPU-6050

Parâmetros	Condições	Valores
Faixa de operação	AFS_SEL=0; AFS_SEL=1; AFS_SEL=2; AFS_SEL=3	$\pm 2g$; $\pm 4g$; $\pm 8g$; $\pm 16g$
Temperatura de operação		-40°C a 85°C
Comprimento de palavra ADC	Saída em formato de complemento de dois	16 bits
Escala de sensibilidade	AFS_SEL=0; AFS_SEL=1; AFS_SEL=2; AFS_SEL=3	16384LSB/g; 8192LSB/g; 4096LSB/g; 2048LSB/g;
Tolerância de calibração inicial		+/-3%
Não-linearidade		0,5%
Mudança de Sensibilidade vs. Temperatura	AFS_SEL=0, -40°C a 85°C	+/-0,02%/°C
Sensibilidade de eixo cruzado		+/-2%
Mudança de Nível Zero-G vs. Temperatura	Eixos X e Y, 0° C a 70° C; Eixo Z, 0°C a 70° C	$\pm 35mg$; $\pm 60mg$
Tolerância de calibração inicial	Eixos X e Y; Eixo Z	$\pm 50mg$; $\pm 80mg$
Resposta de auto teste - relativo	Variação em relação ao ajuste de fábrica	-14 a 14%
Ruído - Densidade espectral de potência	@10Hz, $AFS_SEL = 0 \& ODR = 1kHz$	$400g/\sqrt{Hz}$
Resposta do filtro passa-baixa	Faixa programável	5Hz a 260Hz
Taxa de saída de dados	Faixa programável	4Hz a 1000Hz
Incremento da função de inteligência		32mg/LSB

TABLE II
TABELA COM INFORMAÇÕES DO GIROSCÓPIO DA MPU-6050

Parâmetros	Condição	Valores
Faixa de operação	FS_SEL=0;FS_SEL=1; FS_SEL=2;FS_SEL=3	$\pm 250^\circ/s$; $\pm 500^\circ/s$; $\pm 1000^\circ/s$; $\pm 2000^\circ/s$
Temperatura de operação		-40°C a 85°C
Comprimento de palavra ADC		16 bits
Escala de sensibilidade	FS_SEL=0;FS_SEL=1; FS_SEL=2;FS_SEL=3	131LSB/(°/s); 65,5LSB/(°/s); 32,8LSB/(°/s); 16,4LSB/(°/s)
Tolerância da escala de sensibilidade	25°C	-3 a +3%
Variação da escala de sensibilidade		$\pm 2\%$
Não-linearidade	Linha reta de melhor ajuste; 25°C	0,2%
Sensibilidade Cruzada de Eixos		$\pm 2\%$
Tolerância Inicial de ZRO	25°C	$\pm 20^\circ/s$
Variação de ZRO em função da temperatura	-40°C a 85°C	$\pm 20^\circ/s$
Sensibilidade à alimentação de energia (1 - 250Hz); (250 - 100kHz)	Onda senoidal, 100mpVpp; VDD=2,5V	0,2°/s; 4°/s
Sensibilidade à aceleração linear	Estática	01°/s/g
Resposta de auto teste relativa	Variação em relação ao ajuste de fábrica	-14 a 14%
Ruído total RMS	DLPFCFG=2 (100Hz)	0,05 °/s-rms
Ruído RMS de baixa frequência	Largura de banda 1Hz a 10Hz	0,033 °/s-rms
Densidade espectral de ruído de taxa	A 10 Hz	$^\circ/s/\sqrt{Hz}$
Frequências mecânicas do giroscópio: eixo X; eixo Y; eixo Z		30 a 36kHz; 27 a 33kHz; 24 a 30kHz
Resposta do filtro passa-baixa	Faixa programável	5 a 256Hz
Taxa de saída de dados	Faixa programável	4 a 8000Hz
Estabilização de ZRO (a partir do ligamento)	Até $\pm 1^\circ/s$ do final	30ms