UNIVERSITATEA TEHNICĂ „Gheorghe Asachi” din IAȘI

FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE

DOMENIUL: Calculatoare și Tehnologia Informației

SPECIALIZAREA: Calculatoare

MONITORIZAREA ACTIVITĂȚILOR FIZICE

LUCRARE DE LICENȚĂ

Coordonator științific

Conf.dr. Andrei Stan

Absolvent

Cezar-Marian Dondaș

Iași, 2023

DECLARAȚIE DE ASUMARE A AUTENTICITĂȚII

LUCRĂRII DE LICENȚĂ

Subsemnatul(a) Dondaș Cezar-Marian legitimat(ă) cu CI seria IZ nr. 003718 , CNP 1990908226707autorul lucrării MONITORIZAREA ACTIVITĂȚILOR FIZICE elaborată în vederea susținerii examenului de finalizare a studiilor de licență  
organizat de către Facultatea de Automatică și Calculatoare din cadrul Universității Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iași, sesiunea iulie a anului universitar 2022-2023, luând în considerare conținutul Art. 34 din Codul de etică universitară al Universității Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iași (Manualul Procedurilor, UTI.POM.02 – Funcționarea Comisiei de etică universitară), declar pe proprie răspundere, că această lucrare este rezultatul propriei activități intelectuale, nu conține porțiuni plagiate, iar sursele bibliografice au fost folosite cu respectarea legislației române (legea 8/1996) și a convențiilor internaționale privind drepturile de autor.

Data Semnătura

Rămâne de completat!

Monitorizarea activităților fizice

Rezumat

Cezar-Marian Dondaș

Scopul acestei teme este de a supraveghea în detaliu anumiți parametri care ne ajută la constatarea aspectelor legate de sănătatea umană și de cunoaștere a frecvenței realizării de activități fizice de-a lungul timpului. De asemenea, se vor avea în vedere aspecte care pot evidenția sedentarismul din cauza efortului fizic scăzut sau deloc, ori un somn agitat de-a lungul nopții. Aceste informații pot fi decisive pentru luarea unei hotărâri în ceea ce privește sănătatea.

Am ales această temă din dorința de aprofundare a cunoștințelor dobândite pe parcursul anilor de studiu și de a le aplica într-un proiect de interes în zilele noastre, observând faptul că, pe piața actuală, există din ce în ce mai multe smartwatch-uri care au aceste funcții ce oferă informații despre activitatea fizică. Specialiștii în domeniul medicinei sugerează că o rutină zilnică de 10 000 de pași reduce depresia și anxietatea, îmbunătățește calitatea somnului, previne apariția unor afecțiuni precum boli de inimă, accident vascular cerebral și hipertensiune arterială.

Monitorizarea pașilor efectuați în timpul zilei este relevantă în diagnosticarea bolilor sau afecțiunilor de care suferim. Un senzor incorporat în propriul telefon mobil sau în smartwatch este capabil să măsoare numărul de pași și chiar să se tragă o concluzie despre calitatea somnului bazată pe citirea valorilor accelerometrului și a giroscopului.

În tema propusă se vor detalia soluțiile abordate, se vor menționa problemele întâlnite și rezolvarea acestora pe parcursul realizării și documentării proiectului.

**Cuprins**

[Introducere 1](#_Toc138239808)

[Capitolul 1. Prezentare generală 2](#_Toc138239809)

[1.1 Caracteristici 2](#_Toc138239810)

[1.1.1 Caracteristici giroscop 2](#_Toc138239811)

[1.1.2 Caracteristici accelerometru 2](#_Toc138239812)

[1.1.3 Caracteristici magnetometru 2](#_Toc138239813)

[1.1.4 Alte caracteristici ale plăcii de dezvoltare MPU-9250 2](#_Toc138239814)

[1.2 Convertori analog-digitali pe 16 biți 3](#_Toc138239815)

[1.2.1 Giroscop 3](#_Toc138239816)

[1.2.2 Accelerometru 3](#_Toc138239817)

[1.2.3 Magnetometru 3](#_Toc138239818)

[1.3 Digital Motion Processor(DMP) 3](#_Toc138239819)

[1.4 Interfețe de comunicare serială 4](#_Toc138239820)

[1.4.1 Comunicarea serială I2C 4](#_Toc138239821)

[1.4.1.1 Protocolul I2C 5](#_Toc138239822)

[1.4.2 Comunicarea serială SPI 7](#_Toc138239823)

[1.5 Registrele de date ale senzorilor 7](#_Toc138239824)

[1.6 FIFO 7](#_Toc138239825)

[1.7 Întreruperi 8](#_Toc138239826)

[Bibliografie – ramâne de editat 9](#_Toc138239827)

# **Introducere**

În proiectul ce va fi prezentat, se vor folosi dispozitivul de urmărire a mișcării MPU-9250 pentru achiziția valorilor de pe fiecare axă a fiecărui senzor și Raspberry PI 2 , un computer de mici dimensiuni, de marimea unui card bancar având un procesor ARM cu sistem de operare Raspian, având o distribuție linux.

MPU-9250 este un modul multicip format din două blocuri integrate într-un singur pachet numit QUAD FLAT NO-LEAD [[1]](#footnote-1). Un bloc este alcătuit din accelerometru și giroscop fiecare senzor cu câte trei axe. Celălalt bloc reprezintă AK8963, magnetometru de la Asahi Kasei Microdevices Corporation [[2]](#footnote-2). MPU-9250 este un dispozitiv de urmărire a mișcării pe nouă axe care combină un giroscop cu trei axe, un accelerometru cu trei axe, un magnetometru cu trei axe și un procesor digital de mișcare. Acesta este conceput, de asemenea, pentru a se interfața cu o gamă variată de senzori digitali care nu sunt inerțiali prin intermediul conexiunii auxiliare I2C [[3]](#footnote-3). Dispozitivul de monitorizare a mișcării cu cele nouă axe integrate oferă consumatorilor o performanță optimă mișcării, iar calibrările efectuate acestuia permit producătorilor să elimine eventualele costuri suplimentare.

MPU-9250 dispune de trei convertoare analog-digitale pe 16 biți pentru digitizarea ieșirilor giroscopului, accelerometrului și magnetometrului. Pentru urmărirea cu precizie a mișcărilor rapide și lente, componentele dispun de un sistem programabil de către utilizator. Giroscopul are o gamă completă de ±250, ±500, ±1000 și ±2000°/sec (dps), accelerometrul ±2g, ±4g, ±8g și ±16g și magnetometrul cu o gamă completă de ±4800µT.[[4]](#footnote-4)

Alte caracteristici din industrie includ filtre digitale programabile, un ceas de precizie de 1% de la -40°C până la 85°C, un senzor de temperatură încorporat și întreruperi programabile.

Comunicarea cu toate registrele dispozitivului se desfășoară folosind fie I2C la 400kHz, fie SPI la 1MHz.

Raspberry PI 2 este un computer care conține un procesor cu patru nuclee ARM Cortex-A7 de 900Mhz, 1 GIGABYTE memorie RAM, patru porturi USB, ieșire HDMI, port pentru cablu Ethernet, placă video integrată, interfață pentru cameră și afișare. Cu ajutorul unui card microSD vom adăuga și distribuția linux Raspian.

Comunicarea celor două se va realiza prin interfața serială I2C, unde senzorul mereu va avea un comportament de tip “slave”. Plăcuța va prelua controlul și va juca rol de “master”.

# **Capitolul 1. Prezentare generală**

## ***Caracteristici***

### *Caracteristici giroscop*

* Senzori de viteza unghiulara cu ieșire digitală pe axele X, Y și Z cu o gamă completă programabilă și convertoare integrate pe 16 biți;
* Filtru trece-jos programabil digital;
* Curentul de funcționare 3.2mA;
* Curent în modul „sleep” : 8 µA;
* Autotestare.

### *Caracteristici accelerometru*

* Curent normal de funcționare de 450µA;
* Trei axe cu ieșire digitala cu o gamă completa programabilă și convertoare pe 16 biți;
* Curent în modul de consum redus de 8,4µA la 0,98Hz, 19,8µA la 31,25Hz;
* Curent în modul „sleep” de 8µA;
* Întreruperi programabile de către utilizator.

### *Caracteristici magnetometru*

* Senzor magnetic cu efect Hall monolitic pe trei axe din siliciu;
* Rezoluție a datelor de ieșire de 14 biți (0.6µT/LSB);
* Limita maximă de măsurare este de ±4800µT;
* Curentul de funcționare normală a magnetometrului 280µA la o rată de 8Hz;
* Autotestare.

### *Alte caracteristici ale plăcii de dezvoltare MPU-9250*

* Magistrala I2C pentru citirea datelor de la senzori externi;
* 3.5 mA curent de funcționare atunci cand toate cele nouă axe de detectare a mișcării și DMP sunt activate;
* Tensiune de alimentare de la 2.4V la 3.6V;
* Buffer FIFO de 512 octeti care asigură procesorului de aplicații să citească mai multe date simultan;
* Senzor de temperatură;
* Tolerantă la șocuri de 10.000 g;
* Mod rapid pentru comunicarea I2C cu toate registrele de 400kHz;
* Interfață seriala SPI de 1MHz pentru comunicarea cu toate registrele.

## ***Convertori analog-digitali pe 16 biți***

### *Giroscop*

Atunci când giroscopul este rotit în jurul oricărei dintre axele X,Y, Z efectul Coriolis provoacă o vibrație care este detectată de un dispozitiv de preluare capacitivă. Semnalul obținut este amplificat, demodulat și filtrat pentru a produce o tensiune care este proporțională cu viteza unghiulară. Această tensiune este transformată prin intermediul convertorului analog-digital care eșantioneaza fiecare axă. Intervalul maxim al senzorului pentru fiecare axă poate fi programat digital la ±250, ±500, ±1000 sau la ±2000 grade pe secundă (dps). Rata de eșantionare a convertorului analog-digital este programabilă de la 8000 de eșantioane pe secundă până la 3.9 eșantioane pe secundă.

### *Accelerometru*

Accelerometrul utilizează mase de probă separate pentru fiecare axă. Accelerația induce o deplasare pe masa de probă corespunzatoare, iar senzorii capacitivi detectează deplasarea diferențiat. Când dispozitivul este plasat pe o suprafață plană, acesta măsoară 0g pe axele X și Y și +1g pe axa Z. Factorul de scalare al acestuia este calibrat în fabrică și este independent de tensiunea de alimentare. Fiecare senzor are un convertor analog-digital dedicat pentru furnizarea ieșirilor digitale. Intervalul complet pentru acestea poate fi ajustat la ±2g, ±4g, ±8g sau ±16g.

### *Magnetometru*

Magnetometrul cu trei axe utilizează tehnologia efectului Hall. Efectul Hall poate fi aplicat într-un magnetometru pentru a identifica și măsura câmpul magnetic. Partea magnetometrică a circuitului conține senzori magnetici pentru detectarea magnetismului terestru pe axele X, Y, Z, un senzor de acționare, un lanț de amplificare a semnalului și un circuit aritmetic pentru procesarea semnalului de la fiecare senzor. Fiecare convertor analog-digital are 16 biți și o gamă completă de ±4800 µT.

## ***1.3 Digital Motion Processor(DMP)***

Procesorul încorporat este integrat MPU-9250 și transferă calculul algoritmilor de la procesorul gazdă. DMP-ul achiziționează datele de la accelerometru, giroscop, magnetometru și senzori externi procesându-le. Acesta are posibilitatea de a accesa unul dintre pinii externi ai MPU-9250 care poate fi utilizat în generarea de întreruperi. Pinul 12 trebuie conectat pe un altul de pe procesorul gazdă care o și trezește din modul „suspend”.

Scopul DMP este de a descărca puterea de procesare de la procesorul gazdă, cât și cerințele de sincronizare. Acesta poate fi folosit ca un instrument de minimizare a puterii, pentru simplificarea sincronizarii și arhitecturii software fiind lucruri utile într-o aplicație.

## ***Interfețe de comunicare serială***

MPU-9250 comunică cu un procesor al unui sistem electronic , unde vom vedea în următoarele capitole că ne referim la sistemul de calcul echipat cu procesor ARM, fie folosind SPI [[5]](#footnote-5) sau I2C [[6]](#footnote-6). MPU funcționează întotdeauna ca „slave” în comunicarea cu acesta. Prin serial înțelegem că transmiterea informației se va efectua bit cu bit.

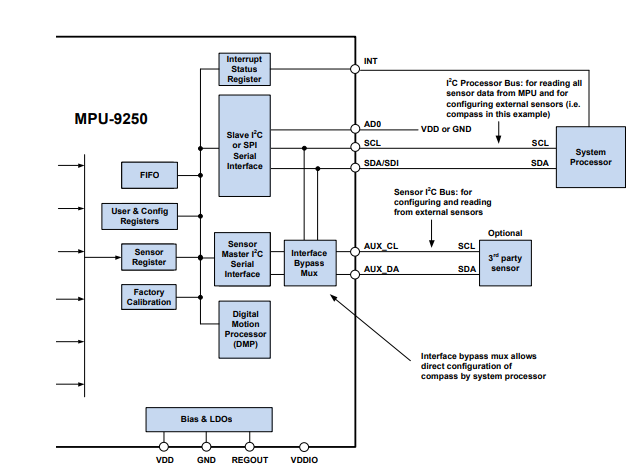
### *1.4.1 Comunicarea serială I2C*

I2C este o interfață care utilizează doar două fire pentru transmiterea datelor între dispositive. SDA reprezintă linia cu datele seriale care vor fi trimise și primite pentru „master” și „slave”. SCL este linia care transportă semnalul de ceas. Acestea sunt bidirecționale. Dispozitivul „master” [[7]](#footnote-7) trimite adresa „slave-ului” pe magistrală, iar dispozitivul „slave” [[8]](#footnote-8) cu adresa respectiva recunoaște „master-ul”. Viteza maximă a magistralei este 400kHz.

MPU-9250 are la dispoziție un circuit auxiliar I2C pentru comunicarea cu senzorii externi. Magistrala are două moduri de funcționare:

* „I2C Master Mode”: Placa de dezvoltare se comportă ca și „master” pentru orice senzor extern. Modul permite acesteia să acceseze direct registrele senzorilor externi astfel obținând date de la ei fără ca procesorul de sistem electronic să intervină;
* „Pass-Through Mode”: În acest caz, senzorii externi comunică direct cu procesorul sistemului. Modul permite acestuia să joace rol de „master” comunicând direct cu senzorii care sunt conectați la pinii auxiliari ai magistralei I2C „AUX\_DA” și „AUX\_CL”. Așadar, logica de control a magistralei pentru modul anterior va fi dezactivată. Configurarea prezentată este utilă pentru a accesa magnetometrul AK8963 direct de la gazdă. El va primi adresa „slave” 0x0C sau 12 zecimal. Este important de reținut faptul că AK8963 se va folosi ca un senzor extern sau cum este denumit în documentație, senzor terț.

MPU-9250 are abilități reduse ca „master” I2C și depinde de procesorul de sistem în vederea gestionării configurării inițiale a oricarui senzor extern. Are un multiplexor de „bypass” care asigură conectarea magistralei I2C al procesorului prin pinii „SDA” și „SCL” direct la magistrala I2C a senzorilor auxiliari. Dupa configurarea acestora de către procesor, trebuie dezactivat multiplexorul interfeței deoarece auxiliarul „I2C master” al MPU-9250 să preia controlul magistralei I2C a senzorilor și să colecteze date de la senzorii auxiliari.



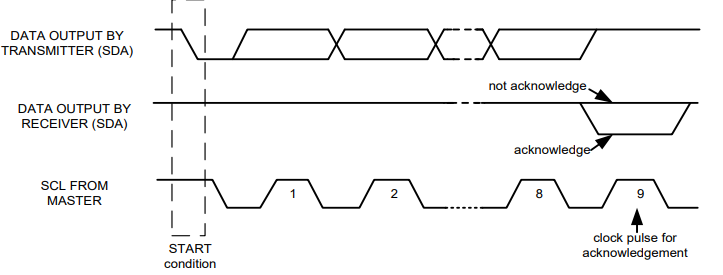
*Figura 1.4.1 Soluție utilizând interfața I2C*

#### 1.4.1.1 Protocolul I2C

Comunicarea pe magistrala I2C începe când master-ul trece condiția START(S) pe magistrală care este caracterizată ca o tranziție de la high la low a liniei SDA în timp ce linia SCL este pe high. Putem spune că magistrala este ocupată până când master-ul pune condiția de oprire(P) pe magistrală fiind definită ca o tranziție de la low la high pe linia SDA, SCL fiind pe high. Magistrala continuă să fie ocupată dacă se genereaza un START repetat(Sr) în loc de o condiție STOP.

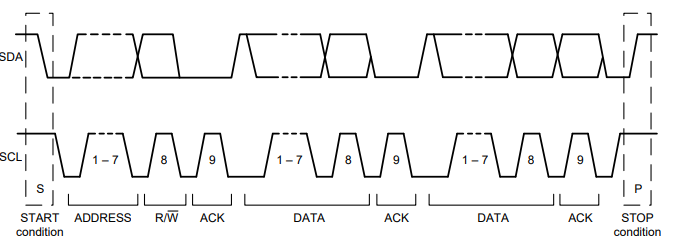
Octeții de date I2C sunt definiți având lungimea de 8 biți. Nu există vreo restricție în ceea ce privește numărul de octeți transmiși per date de transfer. Fiecare octet transferat este urmat de un semnal de confirmare numit „acknowledge”, găsit și ca ACK în documentație. Acesta este produs de master, în timp ce receptorul generează semnalul de confirmare propriu-zis trăgând jos SDA și păstrându-l pe low pe porțiunea de high a impulsului de ceas al ACK.

Dacă un slave este ocupat și nu poate transmite sau primi un alt octet cât timp operațiunea nu este îndeplinită, acesta poate menține SCL pe low, determinând master-ul să intre în stare de așteptare. Transferul normal de date se restabilește în momentul în care slave-ul este gata și eliberează linia de ceas.



*Figura 1.4.1.1 Asertare magistrală I2C*

După începerea cu condiția de START(S), master-ul trimite o adresă slave de 7 biți urmată de un al 8-lea bit, cel de citire/scriere. Acesta specific dacă master-ul date de la slave sau dacă scrie date pe acesta. Master-ul eliberează linia SDA și așteaptă semnalul de confirmare ACK de la slave. Fiecare octet trimis este urmat de un bit de confirmare. Pentru aceasta, dispozitivul slave păstrează linia SDA pe low cât timp linia SCL este pe high. Transmisia de date este considerată încheiată atunci când master-ul pune condiția de STOP(P), astfel eliberând linia de comunicare. O tranziție de la low la high pe linia SDA, în timp ce linia SCL este pe high stabilește condiția de stop. Toate schimbările SDA au loc cât timp SCL este pe low, cu excepția condițiilor de STOP și START.



*Figura 1.4.1.2 Transfer complet de date I2C*

### *1.4.2 Comunicarea serială SPI*

SPI este o interfață serială sincronă cu patru fire care folosește două linii de control și două linii de date. Ca și in cazul de mai sus, plăcuța de dezvoltare mereu va fi de tip „slave”. Semnalele CS, SDO, SCLK și SDI sunt utilizate pentru comunicarea SPI. Pinii acestora sunt partajați cu pinii „slave-ului” I2C, procesorul de sistem nu are acces la magistrala auxiliară I2C prin intermediul mutiplexorului de „bypass” care leagă pinii de interfața I2C ai procesorului cu cei de pe senzor. CS reprezintă linia pentru „master” care selectează „slave-ul” cui să trimită informații. MISO este linia care trimite date de la „slave” la „master”, iar MOSI reprezintă opusul, de la „master” la „slave”. Ieșirea de date seriale(SDO), ieșirea de ceas serial(SCLK) și ieșirea de date de intrare(SDO) sunt partajate între dispozitive „slave”. Fiecare dispozitiv „slave” SPI necesita propria linie de selectare a cipului(CS) de la „master”.

Când se folosește SPI ca și metoda de comunicare între MPU-9250 și celălalt dispozitiv care il va controla, configurearea acestora pe magistrala auxiliară I2C pentru senzori poate fi posibilă prin intermediul „I2C slaves 0-4” în vederea efectuării de tranzacții pentru citire și scriere pe orice dispozitiv. Imediat ce senzorii externi au fost configurați, se pot efectua citiri pe unul sau mai muți octeți.

Atunci când CS-ul este pe „low” la începutul transmiterii linia este activa, iar la final revine pe „high” și devine inactivă. Doar o singură linie CS este activă la un moment dat, ceea ce garantează selectarea unui singur „slave” la un moment dat. Liniile CS ale dispozitivelor „slave” neselectate sunt ținute pe „high”, determinând ca liniile SDO ale acestora să fie menținute într-o stare de impedanță „high-z” astfel încât să nu interfereze cu alt dispozitiv activ.

## ***Registrele de date ale senzorilor***

Registrele de date ale acestora cuprind cele mai recente date de măsurare a accelerometrului, giroscopului, magnetometrului, senzorului auxiliar și a temperaturii. Acestea sunt registre doar pentru citire și sunt obținute prin intermediul interfeței seriale. Datele pot fi citite oricând.

## ***FIFO***

MPU-9250 conține un registru FIFO de 512 octeți care este disponibil prin interfața serială. Registrul FIFO determină ce date sunt scrise. Printre opțiuni se regăsesc datele de la giroscop și accelerometru, citiri de temperatură, citiri ale senzorului auxiliar și intrarea FSYNC. Un contor FIFO reține câți octeți de date valide sunt conținute în FIFO. Registrul FIFO suportă mai multe citiri simultan. Funcția de întrerupere poate fi folosită pentru a identifica momentul în care sunt disponibile date noi.

## ***Întreruperi***

Funcționalitatea întreruperilor este configurată cu ajutorul registrului INT. Elementele care pot fi configurate includ configurația pinului INT, metoda de blocare și compensare a întreruperii și declanșatoarelor pentru întrerupere. Componentele care declanșează o întrerupere sunt: generatorul de ceas blocat la noul oscilator de referință, noi date sunt pregătite pentru a fi citite(din registrele FIFO și registrele de date), întreruperi ale accelerometrului și MPU-9250 nu a primit confirmare de la un senzor auxiliar pe magistrala I2C secundară. Starea întreruperii este citită din registrul Interrupt Status. Pinul INT ar trebui conectat la un pin de pe procesorul gazdă cu posibilitatea de a-l trezi din starea „suspend”.

## ***Senzor temperatură***

Un senzor de temperatura pe cip și un convertor analog-digital sunt utilizate pentru a măsura temperatura MPU-9250. Citirile sunt citite din FIFO sau din registrele de date ale senzorului.

## ***Clocking***

MPU-9250 are o schemă flexibilă de sincronizare, facilitând folosirea unei varietăți de surse de ceas intern pentru circuitele interne sincrone. Acest circuit sincron cuprinde circuitele de condiționare a semnalului si convertoare analog-digitale, DMP-ul împreuna cu diverse circuite și registre de control.

Selectarea sursei pentru generarea ceasului intern sincron depinde de necesitățile privind consumul de energie și precizia ceasului. Aceste cerințe vor varia adesea în funcție de modul de operare. De exemplu, într-un mod, în carea cea mai mare îngrijorare este consumul de energie, este posibil ca utilizatorul să dorească să opereze dispozitivul DMP al MPU-9250 pentru a procesa datele accelerometrului, ținând giroscoapele dezactivate. În acest caz, sistemul oscilator intern de relaxare este o alegere bună pentru ceas. Cu toate acestea, într-un alt scenariu, în care giroscoapele sunt active, selectarea acestora ca sursă de ceas asigură o sursă de ceas mai precisă.

Precizia ceasului este importantă, deoarece erorile de sincronizare afectează în mod direct calculele distanței și unghiurile realizate de catre DMP.

Există și alte condiții de pornire care trebuie luate în considerare. Când MPU-9250 pornește pentru prima dată, dispozitivul utilizeaza ceasul său intern până când este programat să funcționeze de la o altă sursă. Acest fapt îi conferă utilizatorului, de exemplu, posibilitatea de a aștepta pentru oscilatoarele MEMS să se stabilizeze înainte de a fi selectate ca sursă de ceas.

# **Bibliografie – ramâne de editat**

Site-uri web:

* <https://download.mikroe.com/documents/datasheets/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf>
* <https://invensense.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2017/11/RM-MPU-9250A-00-v1.6.pdf>

1. QFN este un pachet de mici dimensiuni fără plumb, care este dreptunghiular cu rol în disiparea căldurii. [↑](#footnote-ref-1)
2. AKM este un producător de semiconductori cu sediul in Tokyo, Japonia. [↑](#footnote-ref-2)
3. Inter-Integrated Circuit, cunoscut ca și I2C este o magistrală de comunicație seriala sincronă. [↑](#footnote-ref-3)
4. DPS – radiani/secunda, g – accelerația gravitațională și µT – microTesla. [↑](#footnote-ref-4)
5. Serial Peripheral Interface [↑](#footnote-ref-5)
6. Inter-Integrated Circuit [↑](#footnote-ref-6)
7. Master-ul controlează întregul sistem, inițiază și gestionează datele primite de la slave. [↑](#footnote-ref-7)
8. Face referire la arhitectura master-slave, în care slave-ul reprezintă nodul care execută sarcinile primite de la master furnizându-i înapoi diferite rezultate ale procesării sale. [↑](#footnote-ref-8)