**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din TIMIȘOARA**

**FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE**

**SPECIALIZAREA AUTOMATICĂ**

**ROBOTINHO**

**Robot biped comandabil automat și manual**

Profesor coordonator: Autori:

Ș.l. dr. ing. Sorin NANU Silviu-Dumitru BĂTRÎNUȚ

Daniel-Pavel NEAMȚIU

TIMIȘOARA

2019

Cuprins

[1. INTRODUCERE 5](#_Toc4686260)

[1.1 Contextul aplicației 5](#_Toc4686261)

[1.2 Prezentarea temei 5](#_Toc4686262)

[2. STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRILOR ÎN DOMENIU 5](#_Toc4686263)

[2.1 Cassie 5](#_Toc4686264)

[2.2 EZ-Robot JD 6](#_Toc4686265)

[3. ASPECTE TEORETICE 7](#_Toc4686266)

[3.1 Echipamente hardware 7](#_Toc4686267)

[3.1.1 Arduino Uno 7](#_Toc4686268)

[3.1.2 ESP32 Thing 8](#_Toc4686269)

[3.1.3 Pixy CMUcam5 8](#_Toc4686270)

[3.1.4 Setul Biped BRAT 9](#_Toc4686271)

[3.1.5 Extech 382280 9](#_Toc4686272)

[3.2 Tehnologii software 10](#_Toc4686273)

[3.2.1 Limbajul C++ 10](#_Toc4686274)

[3.2.2 Limbajul Java 10](#_Toc4686275)

[3.2.3 Arduino IDE 10](#_Toc4686276)

[3.2.4 Android Studio 10](#_Toc4686277)

[3.2.5 PixyMon 11](#_Toc4686278)

[3.2.6 GitHub 11](#_Toc4686279)

[3.2.7 LynxTerm 11](#_Toc4686280)

[4. Arhitectura sistemului 12](#_Toc4686281)

[4.1 Arhitectura hardware şi mecanică 12](#_Toc4686282)

[4.2 Arhitectura software 14](#_Toc4686283)

[4.2.1 Arduino 15](#_Toc4686284)

[4.2.2 ESP-32 15](#_Toc4686285)

[4.2.3 Telefon cu Android 15](#_Toc4686286)

[4.3 Funcțiile sistemului 15](#_Toc4686287)

[5. Implementare 16](#_Toc4686288)

[5.1 Arduino 16](#_Toc4686289)

[5.2 ESP32 16](#_Toc4686290)

[5.3 Telefon Android 16](#_Toc4686291)

[6. Rezultate și probleme întâmpinate 16](#_Toc4686292)

[7. Concluzii și direcții de dezvoltare 17](#_Toc4686293)

[7.1 Direcții de dezvoltare 17](#_Toc4686294)

[7.2 Concluzii 18](#_Toc4686295)

[8. Bibliografie 18](#_Toc4686296)

1. INTRODUCERE

1.1 Contextul aplicației

În momentul actual tehnologia se schimbă într-un ritm accelerat. În fiecare an apar paradigme noi, iar inginerii și dezvoltatorii sunt implicați într-un proces de învățare continuă. Marile companii promovează o gamă tot mai variată de unelte și tehnologii.

Dacă până acuma roboții staționari au dominat industria, în ultimii ani s-a remarcat utilitatea roboților mobili. Aceștia, dotați cu o inteligență superioară, vor fi capabili să îndeplinească o multitudine de sarcini, spre deosebire de cei statici, care aveau doar o singură atribuție.

Utilitatea lor este vastă. Ei pot fi găsiți în marile depozite, pe câmpurile de luptă dar și la competiții, în scop recreativ. Noi am hotărât să dezvoltăm un robot din ultima categorie.

1.2 Prezentarea temei

Această lucrare își propune să livreze un robot inteligent de formă umanoidă. Rolul său este de a căuta un obiect de forma sferică într-un spațiu special amenajat, să se deplaseze înspre el și de a șuta cu unul din membrele sale. Acest comportament este specific modului de lucru automat, dar robotul poate fi controlat și manual de către utilizator cu ajutorul unei aplicații Android, care comunică prin Wi-Fi.

Ne-am dorit sa realizăm un robot ușor de controlat, care să fie autonom din punct de vedere al deciziilor și distractiv de urmărit.

2. STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRILOR ÎN DOMENIU

Robotul, ca definiție, este un dispozitiv reprogramabil care poate înlocui omul pentru anumite sarcini. Roboții umanoizi sunt acei roboți care au formă umană, în special membre, folosite pentru deplasare sau apucare de obiecte.

Termenul de robot a fost formulat pentru prima oară de către scriitorul ceh de science-fiction Karel Čapek și folosit ulterior de Isaac Asimov. De la stadiul de ficțiune roboții au evoluat la realitate pe la mijlocul secolului 20. Primul robot umanoid a fost completat în 1972 de către specialiștii de la Universitatea Waseda din Japonia, acesta având capacitatea de a se deplasa.

În ultimii ani programarea roboților mobili bipezi s-a dezvoltat foarte mult. Marile institute tehnice au investit mulți bani pentru realizarea unor roboți cât mai performanți și utili. Roboții actuali au utilitate variată, ca și:

* Asistarea la recuperarea după dezastre
* Îngrijirea unei locuințe
* Livrarea de bunuri sau produse
* Utilitate militară

Capacitățile acestor roboți includ:

* Mersul și alergatul pe diferite suprafețe
* Menținerea echilibrului
* Salturi
* Comunicarea cu alte dispozitive

2.1 Cassie

Cassie este un robot biped, agil și robust, dezvoltat de Univesitatea din Oregon în 2017. Cu ajutorul unei baterii ce durează 24 de ore și a capacităților de a merge, fugi și menține echilibrul în situații de destabilizare, acest robot reprezintă apogeul dezvoltării tehnice în domeniu.

Proiectanții acesteia au îmbinat caracteristici umane dar și de struț pentru o eficiență cât mai mare. Cu cele 6 grade de libertate, Cassie este capabilă să și se așeze, iar apoi să se ridice. Utilitatea ei variază de la căutarea de victime după dezastre până la livrarea de bunuri.

A picture containing indoor, wall, object

Description generated with very high confidence

Figura **2.1**: Cassie

2.2 EZ-Robot JD

Ez-Robot este un robot umanoid cu 16 grade de libertate, fiecare reprezentat de un servo-motor de calitate, cu carcasă metalică. Acesta poate îndeplini multiple sarcini, cum ar fi deplasarea, apucarea sau detecția de obiecte cu ajutorul camerei plasate pe capul robotului. Camera captează imagini, iar un algoritm inteligent detectează tipare, culori, mișcare, coduri QR( Quick response code) și așa mai departe. Totodată, ochii săi sunt compuși din 18 diode foto emisive sau LED-uri( light-emitting diode), fiecare putând fi configurată să emită o culoare din 1 milion de combinații posibile. Apucarea se face prin intermediul mâinilor, unde sunt plasate servo-motoare speciale pentru această sarcină. Cu ajutorul unei aplicații de pe telefon, Ez-Robot poate fi comandat de către utilizator.

A picture containing object, automaton

Description generated with very high confidence

Figura **2.2**: Ez-Robot

3. ASPECTE TEORETICE

3.1 Echipamente hardware

Pentru elaborarea lucrării de licență, pe partea de hardware(aparatură) s-au folosit următoarele:

* Placa Arduino Uno
* Camera Pixy CMUcam5
* Setul Biped BRAT
* Extech 382280

3.1.1 Arduino Uno

Arduino Uno este un microcontroller bazat pe chipul ATmega328P. Îi este ascociat un mediu de dezvoltare, Arduino IDE, unde se poate programa în limbajul C++. Acesta poate fi alimentat printr-o conexiune USB sau cu ajutorul unei surse externe. Voltajul recomandat de alimentare este situate între 7 și 12 V. La rândul lui, Arduino poate alimenta alte circuite prin pinii speciali de 5V, 3,3V și GND(Ground). Placa este echipată cu:

* Un set de 6 pini analogi și 14 digitali pentru a interfața cu alte circuite
* Capacitatea de a comunica serial(UART TTL, SPI sau I2C)
* 2 surse de întreruperi
* 6 surse de PWM pe 8 biți
* Un LED integrat
* Un bootloader intern

Ca și memorie, ATmega328P deține:

* 32 KB de Flash(memorie de program)
* 2 KB de SRAM(Static Random-Access Memory)
* 1 KB de EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)

A circuit board

Description generated with very high confidence

Figura **3.1**: Pinii atașați plăcii Arduino Uno

Ca și alte caractestici, ceasul intern generator de tact(clock) are frecvența de 16 MHz, generând un semnal de perioadă 62,5 nanosecunde.

Această placă este compatibilă cu o varietate mare de senzori, traductoare, dar și cu cele mai importante sisteme de operare, dând dovadă de flexibilitate și versatilitate. Luate în considerare toate aceste aspecte reiese că Arduino este ușor de folosit și poate fi utilizată în proiecte care variază de la uz casnic până la uz industrial.

3.1.2 ESP32 Thing

ESP32 este un microcontroller capabil să comunice prin Wi-Fi și difertie versiuni de Bluetooth( BT4.0, Bluetooth Smart, Bluetooth Low Energy), dar deținând și 28 de pini de uz general. Această placă este special realizată pentru dezvoltarea IoT(Internet of Things), de aici venindu-i și numele. Ca și capacități, pe lângă cele menționate, acesta deține:

* Microprocesor Tensilica LX6 cu 2 nuclee
* O frecvență de clock de până la 240 MHz
* 520 kB de SRAM
* 4 MB de memorie Flash
* Tensiune de operare situată între 2,2V și 3,6V
* Acumulator litiu polimer integrat
* Port USB pentru alimentare și încărcare de cod



Figura **3.2**: ESP-32 Thing

3.1.3 Pixy CMUcam5

Pixy este o cameră cu software/firmware cu sursă deschisă(open-source) folosită, în special, pentru detecția de obiecte. Printre caracteristicile sale se numără:

* O rată a cadrelor de 50 fps
* Compatibilitate cu plăcile din gama Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone
* Compatibilitate cu sistemele de operare Windows, Linux, MacOS
* Capacitatea de comunicare prin SPI, I2C, UART, USB
* Programarea în limbajele C/C++ sau Python
* Procesor NXP LPC4330, cu 204 MHz şi 2 nuclee
* Senzor de imagine OmniVision OV9715 cu retoluţie de 1280x800
* Tip lentilă standard M12
* Aria vizuală a lentilei de 75° pe orizontală şi 47° pe verticală
* 264Kb de RAM
* 1Mb de memorie Flash

Datorită dimensiunilor sale mici ( 2,1 cm pe 1,75 cm pe 1,4 cm), CMUcam5 poate fi integrată cu ușurință în majoritatea proiectelor. Setul său de unelte sau API-ul(Application Programming Interface) său facilitează utilizarea de către toate categoriile de programatori.

3**.1.4 Setul** Biped BRAT

Acest set(kit), creat de Lynxmotion, conține :

* Un controller SSC-32
* 6 servo-motoare Hitec HS-422
* Piese prefabricate din aluminiu și șuruburi de diferite dimensiuni

SSC-32(serial servo controller) este un microcontroller special folosit pentru a comanda cu precizie servo-motoare. Se bazează pe microchipul Atmega168-20PU. Deține următoarele capacități:

* Poate comanda până la 32 de motoare
* Poate comunica prin RS232 sau UART TTL
* Rezoluția motoarelor este de 0,09 grade
* Raza de acțiune a motoarelor de 180 de grade
* Un loc pentru memorie EEPROM

Motoarele HS-422 sunt niște servo-motoare cu modulare analogică ce pot fi alimentate cu 4,8V sau 6V. Cu cât este mai mare voltajul cu atât este mai rapidă mișcarea motorului. Ele sunt realizate din plastic și au dimensiuni și greutăți mici, pentru a fi ușor de încorporat în majoritatea proiectelor(4 cm pe 1,96 cm pe 3,66 cm și 45,3 grame). Aria lor de rotație este de 180 de grade în ambele sensuri.

3.1.5 Extech 382280

382280 este o sursă programabilă de curent electric. Aceasta poate genera până la 200 W de curent continuu(40V/5A), dar are și 2 ieșiri fixe, de 3,3V/3A și 5V/2A. Poate memora 200 de tipare și oferă stabilitate. Rezoluția buna, de 1 mV si 1 mA și capacitatea de a comunica cu un PC(Personal Computer) în mod bidirecțional, face ca acest produs să fie de încredere și performant.



Figura : Sursa Extech 382280

3.2 Tehnologii software

3.2.1 Limbajul C++

C++ este un limbaj de programare orientat pe obiecte, de nivel înalt dezvoltat de Bjarne Stroustrup ca și o extensie a limbajului C. Apărut pentru prima oară în 1985, C++ este unul dintre cele mai răspândite și de încredere limbaje, fiind folosit de o mare parte de dezvoltatori. În martie 2019, acesta s-a situat pe locul 4 ca și popularitate la nivel mondial.

El este un limbaj flexibil și performant, fiind folosit în diferite domenii, de la jocuri video până la telecomunicații. Poate fi folosit pe cele mai utilizate sisteme de operare(Widnows, Linux, MacOS).

3.2.2 Limbajul Java

Java este un limbaj de programare de nivel înalt, concurent, orientat pe obiecte și puternic tipizat. A fost proiectat de către cei de la Sun Microsystems, mai târziu cumpărat de Oracle, în anii 1990, făcându-și debutul în 1995. Java a avut o dezvoltare rapidă datorită licenței sale publice, prin care oricine își putea aduce contribuția. Sintaxa este asemănătoare cu cea din C/C++.

O capacitate utilă și care îi dă portabilitate este aceea că un cod Java compilat poate fi rulat pe orice platformă ce suportă Java fără să fie recompilat. O altă caracteristică este cea de Garbage Collector, care gestionează memoria automat, fără intervenția programatorului. În general, această tehnologie este utilă pentru a elibera zonele de memorie nefolosite și pentru a optimiza aplicația. De asemenea, Java este un limbaj multiplatformă.

3.2.3 Arduino IDE

Arduino IDE este un mediu de dezvoltare folosită pentru a scrie și încărca programe pe placa Arduino. Ca și capacități se pot număra următoarele:

* Este multiplatformă
* Deține un compilator de C și de C++
* Pot fi incluse numeroase biblioteci
* Are o structură a codului ușor de înțeles și folosit
* Lucrează cu fișiere cu extensia .ino

3.2.4 Android Studio

Android Studio este un mediu de dezvoltare pentru aplicațiile ce rulează pe sistemul de operare Android. Deține compilatoare pentru limbajele Java și Kotlin. Această tehnologie este una performantă, facilitează dezvoltarea de aplicații pe mobil și oferă multe funcții, precum:

* Vizualizarea designului interfeței
* Capacitatea de a instala și rula aplicațiile pe orice variantă de Android
* Analiză statică
* Editare de text inteligentă
* Statistici în timp real despre utilizarea de resurse a aplicației
* Emulator pentru simularea unui aparat ce rulează sistemul de operare Android

3.2.5 PixyMon

Ca și funcționare, Pixy se bazează pe semnături de culoare. Poate stoca până la 7 semnături diferite și poate recunoaște sute de obiecte. Programatorul setează semnăturile obiectelor de interes. O semnătură poate fi compusă din mai multe culori, după cum se poate vedea în figura 2. În acest caz se detectează un obiect cu o semnătură compusă din 3 culori. Se poate observa interfața mediului PixyMon, compusă din bări de acțiune, imaginile date de cameră, opțiunile de setare de semnături și editare, dar și un spațiu pentru log-uri.



Figura : Detecția de obiecte cu ajutorul camerei Pixy

Cu ajutorul mediului PixyMon se pot vizualiza imaginile înregistrate de cameră în 3 moduri:

* Default Program(programul implicit de vizualizare de semnături)
* Raw video(program fără procesare;folosit pentru ajustarea parametrilor camerei, ca și focalizarea sau luminozitatea)
* Cooked video(raw video dar cu un strat de imagine procesată deasupra)

Imaginea utilă este împărțită într-o matrice de pixeli de 320 px pe 200 px, iar procesarea se face pe aceasta.

3.2.6 GitHub

GitHub este un serviciu de găzduire(hosting) și versionare pentru programe software. Acesta poate fi accesat atât de pe un navigator de internet(browser web), cât și printr-o aplicație desktop multiplatformă. Fondat în 2008, GitHub este o unealtă utilă pentru gestionarea de proiecte și este cel mai folosit sistem de hosting din lume.

Este bazat pe sistemul Git, adăugând funcționalități noi, cum ar fi vizualizarea de documente, notificări prin poşta electronică(email) sau un sistem de gestionare a erorilor și problemelor întâmpinate.

3.2.7 LynxTerm

LynxTerm este un software realizat special, de către LynxMotion, pentru testarea funcționalităților plăcii SSC-32. Acesta se prezintă sub forma unui terminal serial și a unor bări de acțiune, de unde se pot da comenzi motoarelor. Această aplicație este utilă pentru a determina buna funcționare a motoarelor.



Figura : Interfață LynxTerm

4. Arhitectura sistemului



Figura **4.1**: Arhitectura sistemului

4.1 Arhitectura hardware şi mecanică

Setul BRAT a venit însoţit de un ghid de asamblare online. Cadrul mecanic al robotului a fost realizat prin îmbinarea pieselor prefabricate conform ghidului. Totodată, cu ajutorul acestui document am integrat motoarele şi placa SSC-32.

Am stablit şi un spaţiu de lucru pentru robot, unde să îşi desfăşoare mişcările. Arena are o formă dreptunghiulară, cu pereți pe toate părțile, având dimensiunile 84,5 cm pe 78 cm pe 4,4 cm, realizată din polistiren și de culoare verde, pentru a contrasta cu sfera de culoare portocalie. Această hotărâre vine în ajutorul camerei, facilitând detecția. Rolul pereților este de a face ca mingea să ricoșeze din ei, astfel aceasta rămânând constant în interiorul arenei.



Figura **4.2**: Spațiul de lucru

Motoarele sunt legate la pinii 0, 1, 2, 16, 17, 18 ai plăcii SSC-32 și corespund articulațiilor robotului conform tabelului 4.1, considerându-se spatele robotului partea unde este fixat controllerul SSC-32.

Tabel **4.1**: Corespondenţa pinilor de pe SSC-32 cu articulaţiile robotului

|  |  |
| --- | --- |
| **Pin** | **Articulaţie** |
| 16 | glezna stângă |
| 17 | genunchiul stâng |
| 18 | șoldul stâng |
| 0 | glezna dreaptă |
| 1 | genunchiul drept |
| 2 | șoldul drept |

Conexiunile dintre Arduino și SSC-32 sunt minimale, doar pentru a realiza comunicarea serială,iar ele sunt următoarele:

* GND la GND(ground sau masă)
* Tx-ul(pinul de transmisie) de la Arduino la Rx-ul(pinul de recepţie) de la SSC-32

Deoarece am folosit multe protocoale de comunicare ale plăcii Arduino cu alte componente, cea mai simplă soluţie rămasă este comunicarea direct prin intermediul pinilor, prin TTL. Conexiunile dintre Arduino şi ESP-32 sunt reprezentate în tabelul 4.2. Pinii celor 2 plăci sunt conectaţi direct prin intermediul unor fire şi transmit voltaj.

Tabel **4.2**: Corespondenţa pinilor plăcilor ESP-32 şi Arduino, alături de funcţionalitea fiecăruia

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ESP-32** | **Arduino** | **Funcţie** |
| 2 | 2 | Manual/Automat |
| 15 | 3 | Spate |
| 5 | 4 | Faţă |
| 18 | 5 | Stânga |
| 23 | 6 | Dreapta |
| 19 | 7 | Şut cu dreptul |
| 22 | 8 | Şut cu stângul |

4.2 Arhitectura software

Ca și software, am dezvoltat programe pentru următoarele componente:

* Arduino
* ESP-32
* Telefon cu Android

Toate entitățile implicate au fost interconectate, iar comunicarea între ele este esențială. Pentru a facilita comunicarea am ales diverse protocoale. În figura următoare acestea sunt prezentate .



Figura : Protocoalele de comunicare utilizate între componente

4.2.1 Arduino

Placa Arduino este nucleul sistemului. Rolul codului ce rulează pe ea este de a prelua datele venite de la camera Pixy sau de la placa ESP32, de a le procesa și de a transmite o comandă plăcii SSC-32 în funcție de acestea.

Preluarea de date și prelucrarea lor se face cu ajutorul bibliotecii Pixy. Prin intermediul API-ului se poate determina:

* Numărul de obiecte detectate
* Coordonatele x și y ale centrului fiecărui obiect
* Lungimea și lățimea fiecărui obiect

Iar prin metoda *print* se pot transmite toate aceste informații pe portul serial.

Pentru a comanda placa SSC-32 este nevoie de a transmite datele într-un anumit format, și anume: #x Py Tz, unde:

* x este pinul atașat motorului ce se dorește a fi comandat
* y este poziția la care trebuie să ajungă membrul comandat de motorul x; 750 ≤ y ≤ 2250 și corespunde unui unghi situat între [0°,180°]
* z este timpul în care să se facă mișcarea, în milisecunde; acest câmp este opțional

Exemplu: #18 P1500 T500

Există și variații ale acestei comenzi.Se poate enumera o listă de motoare și apoi să li se aplice tuturor o poziție și o durată. Exemplu: #18,#17,#16 P1450 T1000

4.2.2 ESP-32

Rolul lui ESP-32 este de a se comporta ca un server. Preia informaţiile de la telefonul cu Android şi transmite comenzi către Arduino.

Comunicaţia cu telefonul se face prin Wi-Fi, aşadar în primă etapă programul ce rulează pe ESP-32 trebuie să iniţializeze o conexiune cu un router sau switch. Pentru o comunicare reuşită, telefonul şi microcontrollerul trebuie să fie în aceeaşi reţea, Local Area Network. După configurarea serverului, urmează acceptarea clientului şi de aşteptarea de request-uri HTTP de tip GET din partea acestuia. În final se dă răspunsul request-ului şi se închide conexiunea.

4.2.3 Telefon cu Android

Scopul telefonului inteligent este de a transmite comenzi manuale către ESP-32. Cu ajutorul unei interfeţe, utilizatorul poate controla în totalitate robotul.

Pentru o comunicarea de succes este necesară conexiunea la reţeaua în care se alfă şi EPS-32. Interfaţa cu utilizatorul este simplă, conţinând 7 butoane sugestive pentru fiecare funcţionalitate descrisă în tabelul 4.2. La apăsarea oricărui buton se va trimite un HTTP request de tip Get diferit pentru a informa microcontrollerul ce are de făcut în continuare. Se implementează un design atrăgător şi un logo propriu.

4.3 Funcțiile sistemului

Sistemul este capabil să ofere următoarele funcţionalităţi:

* Căutare automată a obiectului dorit
* Deplasarea în orice direcţie
* Lovirea obiectului când este în proximitate
  + Cu piciorul drept
  + Cu piciorul stâng
* Rularea unui scurt dans
* Comandare manuală

5. Implementare

5.1 Arduino

Pentru început, am inițializat toate componentele de care am avut nevoie, mai exact cu un obiect de tip Pixy, comunicația serială, cea SPI și am setat pinii 2-8 pe modul intrare (input). Comunicația serială s-a realizat cu o rată de transfer(baudrate) de 115200 biți/secundă, pentru o comandare mai rapidă a motoarelor.

După inițializări, am apelat funcția de poziție dreaptă, iar apoi cea de dans. Până în acest moment toate metodele se execută doar o singură dată, fiind situate în funcția

*void setup()*.

În interiorul funcției *void loop()*, unde toate instrucțiunile se repetă la nesfârșit(echivalent cu un *while(true)*), prima verificare este cea a modului de comandare a robotului.



Figura : Împărțirea imaginii în cadrane conform algoritmului

5.2 ESP32

Serverul se creează cu adresa IP(Internet Protocol) 192.168.1.126, care este o adresă IP privată din familia 192.168.0.0.

5.3 Telefon Android

6. Rezultate și probleme întâmpinate

Pe parcursul dezvoltării lucrării ne-am lovit de unele dificultăți, peste care am trecut cu bine, în final.Acestea sunt următoarele:

* Gestionarea cablurilor. Acestea nu erau fixate strâns, iar mișcările robotului contribuiau la deconectarea cablurilor. Totodată, ele afectau echilibrul robotului.
* Camera Pixy este sensibilă la detecția de obiecte când lumina ambientală este diferită. În unele cazuri se detectau mai multe obiecte deși doar unul era valid.
* Motoarele au diferite referințe.Teoretic, robotul trebuie să stea drept când toate motoarele sunt pe poziția 1500, dar în practică acest lucru nu se întâmpla. A trebuit să găsim pentru fiecare motor propria sa referință. Totodată, sensurile de deplasare erau diferite. Dacă pentru motorul de la șoldul stâng 2250 era poziția maximă în față, pentru motorul de la genunchiul stâng 2250 era poziția maximă în spate.
* Inițial, robotul devia drastic de la traseu și se mișca prea brusc, dezechilibrându-se, iar noi a trebuit să refacem tot algoritmul de pășit.
* La un moment dat s-a stricat laptopul pe care lucram și unde aveam toate instrumentele. A trebuit să reinstalam tot și am fost inspirați să găzduim pe Git toate lucrările pe care le-am făcut.
* A trebuit să recalculăm parametrii funcției de pas deoarece elementele de hardware ce le adăugam pe robot îi afectau echilibrul. Totodată, a trebuit să optimizăm această funcție și la schimbarea de suprafață de mers.
* Sursa nu furniza destul curent. Pe final, motoarele ajungeau să consume până la 1,9A, iar sursa noastră avea ca valoare doar 1A.
* Am încercat să utilizăm alte 2 module de Bluetooth pentru comunicarea între aplicația mobile și robot, dar am eșuat.
* Se transmiteau caractere ininteligibile de la Arduino la SSC-32 sau unele nu se transmiteau deloc.
* Placa SSC-32 a venit împreună cu un jumper ce lega pinul Rx de GND, iar acest aspect împiedica buna desfășurare a testelor deoarece robotul nu răspundea la nicio comandă.

În final, am reușit să depășim toate problemele și să livrăm un robot funcțional. Acesta reacționează conform așteptărilor. Respectând arhitectura, am implementat cu succes toate funcționalitățile propuse.

7. Concluzii și direcții de dezvoltare

7.1 Direcții de dezvoltare

Robotul în cauză poate fi îmbunătățit și optimizat prin următoarele:

* Montarea unei baterii, care să genereze 6V de tensiune și 2A de curent, dar care să aibe și dimensiuni reduse pentru a putea fi încorporată cu ușurință în angrenajul robotului
* Implementarea de căutări de alt gen de obiecte
* Adăugarea de noi funcționalități
  + Marcarea unui gol într-o poartă
  + Interacțiunea cu alți roboți
* Estetizarea ansamblului

7.2 Concluzii

8. Bibliografie