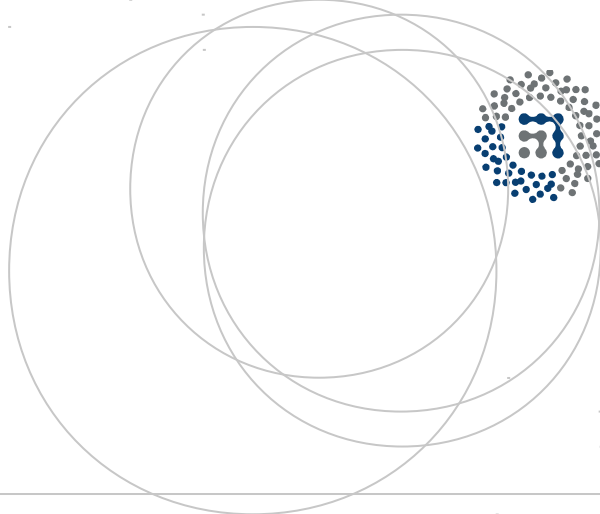


eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea



ZTF-FCT

Zientzia eta Teknologia Fakultatea
Facultad de Ciencia y Tecnología



Gradu Amaierako Lana / Trabajo Fin de Grado
Ingeniaritza Elektronikoko Gradua / Grado en Ingeniería Electrónica

Arduino plataforman oinarritutako indoor mikrobot esploratzaile baten diseinu eta eraikuntza

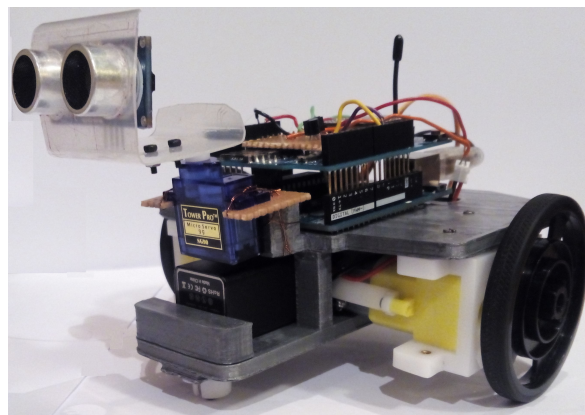
Egilea/Autor:
Anita Inchauspe Berasain
Zuzendaria/Director/a:
Josu Jugo García



Arduino plataforman oinarritutako indoor mikrobot esploratzaile baten diseinu eta eraikuntza

ABSTRACT

In recent years, mobile and autonomous robots have gained much interest. Low-cost and open-source hardware made universities and non-professionals want to develop robots in different scopes. The aim of this project is going to be the creation of different functional robots while minimizing the costs and their consumption. Thereby, a rover, a remote-controlled robot and an indoor localization system are going to be created. Open-source software and hardware will be a basis for it. For all of that, first, the most significant parts of mobile robots are going to be described, secondly, how the applications have been created. Although, the results obtained in the rover and the remote-controlled robot are good, there are things to improve in the localization system. Therefore, this project does not end here it is going to be open to upgrades and future applications like pattern-recognition. In this project, different programming languages are going to be used, as well as, different operating systems.



Aurkibidea

1	SARRERA	1
1.1	Errobot mugikorrak	1
1.2	Sentsoreen garrantzia eta sentsore sareak	3
1.3	Barne lokalizazio sistema	4
1.3.1	Lokalizaziorako teknikak	5
2	SISTEMAREN AZTERKETA ETA ERAIKUNTZA	7
2.1	Sistema elektromekanikoa	8
2.2	Xasisa	9
2.2.1	Diseinua	9
2.2.2	Eraikuntza	10
2.3	Kontrolerako elektronika	11
2.3.1	Energia iturriak	11
2.3.2	Potentzia etapa	12
2.3.3	Mikrokontrolagailuak	13
2.4	Sentsore eta eragingailuak	16
2.5	Komunikazio sistemak	18
2.5.1	PC-Arduino	18
2.5.2	Arduino-Arduino	19
2.5.3	XBee moduloak	21
3	ERROBOTAREN FUNTZIOAK, MATERIALA ETA ERAIKUNTZA	25
3.1	Kontuz! Oztopoak bidean	25
3.2	Urrunetik gidatutako gurdia	27
3.3	Barne lokalizazio sistema	28
3.3.1	Trilaterazioaren garapen matematikoa	28
3.3.2	Seinaleen hedapen eredu Indoor	30

3.3.3	Emitza esperimentalak	30
4	ONDORIOAK	37
	BIBLIOGRAFIA	40
A	A ERANSKINA: EZAUGARRIAK	41

Irudien Zerrenda

1.1.1 Errobot motak.	3
2.1.1 Dc motorra.	8
2.2.1 Gurpilekiko plataformen diseinu mota desberdinak.	10
2.2.2 Xasisaren diseinua.	11
2.3.1 H zubia.	12
2.3.2 PWM seinaleen itxura.	13
2.3.3 Hardware motak.	14
2.4.1 Hurbiltasun sentsoarearen ezaugarri eta itxura.	17
2.4.2 Joystick-aren ezaugarri eta itxura.	18
2.5.1 Protokolo desberdinen kontsumoa.	20
2.5.2 XBee moduluak.	21
2.5.3 Sor daitezkeen sare desberdinak eta x-ctu bidez sorturikoa.	22
2.5.4 XBee moduluen konfiguraziorako pausoak.	24
3.0.1 Zirkuituaren eskema eta errobotak hartutako itxura.	25
3.1.1 Errobotaren konexioak.	26
3.2.1 Joystick-aren zirkuitu eta itxura.	27
3.3.1 Trilaterazioa.	29
3.3.2 Egindako neurketen bi eredu.	32
3.3.3 Antena desberdinez osaturiko moduluen igorpena.	33
3.3.4 Zentimetro batzuen aldaketak RSSI balioengan duen eragina.	34
3.3.5 Sistemaren eraikuntza.	34
3.3.6 Datuen prozesaketa: batezbesteko higikorra eta Kalman iragazkia erabiliz.	35
3.3.7 Trilaterazioaren arazoa.	36

1

Sarrera

EGINDAKO PROIEKTUA LAN EREMU BATEAN KOKATZEARREN, errobot mugikorren sarrera txiki bat egingen da. Honela, nondik datozen aztertzeaz ez ezik, gaur egun haien inguruan dagoen jakin-mina ere aipatuko da, gero, merkatuan dauden errobot mugikor motak aipatuz. Sentsore zein eragingailuekin lan egingen denez, garrantzizkoa izanen da oso hauek zer diren aipatzea bai eta haien lana errobotetan funtsezkoa dela agertzea. Azkenik, geolokalizazioa zer den aipatu eta indoor lokalizazio sistemetan erabil daitezkeen metodoak agertuko dira.

1.1 ERROBOT MUGIKORRAK

Errobot mugikorren sorrera, errobotika espazio zabalago batera handitzearen beharraren ondorio zuzena izan zen, ordura arteko gailuak espazio mugatu bati loturik baitzeuden. Era berean, giza interbentzioa ahalik eta txikiena izanik autonomia handitzea zen helburu.

Autonomiaren ikuspuntutik, errobot mugikorren aitzindari dira hainbat gailu elektromekaniko, hala nola, “micro-mouse” izenekoak, besteak beste labirintoen irteera bilatzeko gai zirenak. 60. hamarraldian, industrian ibilgailu autonomoak erabiltzen hasi arren, hauen gida kableen bitartekoa zen. Urte horietan, errobot mugikorren inguruko ikerkuntzak indar handia hartu zuen haien eraikuntzarako beharrezkoa den hardware-aren kostuen beherapena eta industrien fabrikazio prozesuen kontzeptuen aldaketei esker. Hala ere, 70. hamarraldira arte ez zen agertu sistema autonomoak garatzeko teknologia.

Autonomiaren kontua, industrian aztertzen hasi zen materialak puntu batetik bestera eramateko eginkizunarekin. Hainbat aukera daude horretarako, lehena, makinak bata bestearengandik hurbil jartzea eta beso errobotikoen bidez piezak alde batetik bestera eramatea. Konfigurazio honen ondorioz, ordea, gailu kopurua mugatu egiten da. Beste soluzioa, AGV (Autonomous Guided Vehicles) izeneko ibilgailu autogidatuak erabiltzea da. Horiek kanpo sistemen beharra dute, errailak esate baterako, edo eremu magnetikoa sortuko duten ondoratutako kable elektrikoak. Aukerarik egokiena ibilgailu guztiz autonomoz baliatzea litzake, hau da ALV-z (Autonomous Land Vehicles). Horiek puntu batetik bestera mugitzen baitira kanpo laguntzarik behar gabe, edo ez behintzat momentu orotan. Ibilgailu autonomo hauek maila altuko aginduen bitartez ingurune batean ibiltzeko gai izanen dira. Agindu horien sekuentziak misio-plana izena hartzen du.

Industrian ez ezik, gaur egun beste hainbat esparrutan ere zabaldu da errobot mugikor eta autonomoekiko jakin-mina. Horien eraikuntza esperimentalak unibertsitateetan, bai eta ere afizioaren eskuetik, konexio sentso-motoreetan oinarritutako ikerkuntza ekarri du. Honela, orain arte errobotikan izandakoarekin alderatuta ikuspuntu berri bat ari da garatzen eta honekin batera adimen artifizialaren kontzeptuen berrikuntza.

ERROBOT MUGIKOR MOTAK

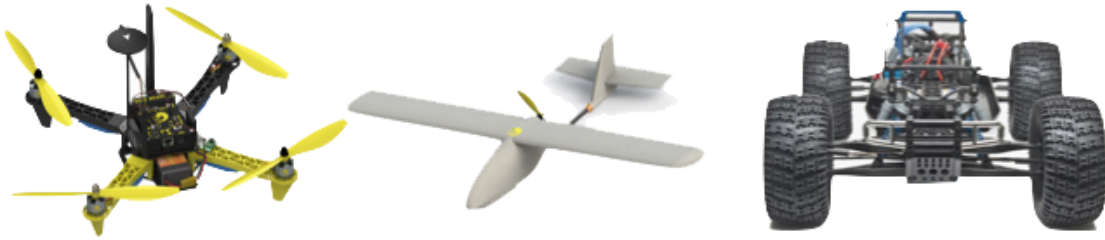
Errobot mugikorrak irizpide desberdinei jarraiki sailka daitezke. Hona hemen besteak beste [1]:

Lan ingurunearen arabera:

- Lurralde edo etxe errobotak Unmanned Ground Vehicles (UGVs) izenez ezagunak. Normalean gurpilekikoak izan ohi dira baina zenbaitetan hankak ere izaten dituzte gizaki, animalia edo intsektu itxura hartuz.
- Entregatze zerbitzu edo garraiorako errobotak, lehenago aipatu den bezala, industri guneetan material desberdinez hornitzeko erabiltzen dira.
- Aerial Robots (UAV), gaur egun dron izenez ere ezagunak.
- Ur-azpiko errobotak (AUV)
- Izotzetako errobotak, ingurune izoztu eta irristakorretan lan egiteko prestatuak.

Mugitzeko erabiltzen duten gailuaren arabera berriz:

- Aipatutako hankekiko errobotak; gizaki edo animalia itxurako hankak dituztenak.



Irudia 1.1.1: Aipatutako hainbat errobot Erle Robotics S.L.-ren eskutik

- Gurpilekikoak.
- Mugitzeko pistak erabiltzen dituztenak.

1.2 SENTSOREEN GARRANTZIA ETA SENTSORE SAREAK

Nolabait esateko, azken finean, sentsoreak zentzumena ematen dio errobotari. Merkatuan topa daitezkeen sentsoreak mota askotakoak izanik erroboten zentzumenak gizakionak baino zabalagoak dira, eta ez hori bakarrik, makinak diren heinean informazio objektibo eta fidagarria eskaintzen dute. Horra hor sentsoreen garrantzia.

Sentsoreek erroboten gaitasun ugari zehazten dituzte. Esaterako, beso artikulatuak material desberdinak ezagutzeko gai badira, materialaren arabera indar bat edo beste aplikatu ahal izanen dute.

Bestetik, kablerik gabeko konexioz baliaturik, espazio batean banatutako gailuen sentsoreekin sare bat osa daiteke, bertako informazio fisiko eta ingurugirokoak monitorizatzeko. Horretarako, haririk gabeko konektibitatea eskaintzen duen gateway izeneko gailuaz baliatu ohi da. Aplikazioaren arabera konexiorako protokolo bat edo beste erabiliko da, IEEE 802.15.4 edo IEEE 802.11 (Wi-Fi) esaterako.

Gaur egungo ingeniariak sentsore sareetan oinarritutako hainbat aplikazio garatu dituzte esparru desberdinetan, medikuntzan edo oinarritzko zerbitzu eta urrutiko monitoretza zerbitzuetan esaterako. Osasun arloko aplikazioetan, gailu inalanbriko horiek gaixoen monitoretza errazten dute, ez baitira horren inbasiboak. Elektrizitatea eta argiteria publikoarekin zerikusia duten oinarritzko zerbitzuetan berriz, haririk gabeko sentsoreek energiaren eta hainbat baliabideren erabilera efizienterako zerbitzu merkeak eskaintzen dituzte. Azkenik, urrutiko monitoretza-aplikazioak garrantzizkoak eta ugariak dira; aire, ur eta lur monitoretza, eraikuntza desberdinen egituren monitoretza, makina industrialen zein prozesu desberdinen monitoretza esaterako. Horiek konexio harietan inbertitu

beharreko kostuak murriztu egiten dituzte, eta ez hori bakarrik, aplikazio ugari izateaz gain neurketa aplikazio berriak sortzeko aukera ere ematen dute.

1.3 BARNE LOKALIZAZIO SISTEMA

Geolokalizazioa elementu batek lurrazalean dituen koordenatuak longitueda eta latitudea ezagutzear datza. Gaur egun horren ezaguna den GPS-a (Global Positioning Sistem-a) 1973an sortu zen Estatu Batuetan. Hark, satellite bakoitzaren orduarekin, seinaleen erretardoa kalkulatu eta triangulazioaren bidez objektu edo ibilgailuaren kokapen zehatza lortzen du. GPS sistemak izandako arrakastaren ondorioz, azken urteotan, lokalizazio sistemek ikerkuntza eta garapenaren munduan hartu duten garrantzia sekulakoa izan da. Izan ere, honen kostua txikia da beste lokalizazio sistemekin konparatuta, aplikazio askotan erabiltzeko aukera emanez. Aipatutakoa ordea, ezin da eraikinen barnean erabili ez baitago antena eta sateliteen arteko ikusmen-lerro zuzenik.

Kablerik gabeko sareen sorrerak eta GPS-ak eraikinen barnean agertzen duen arazoak ikerkuntzara eramane du gai hau, honela, sare horietan oinarriturik, ikertzaileek aukera desberdinak bilatu dituzte. Honakoak dira sare aipagarrienak:

PAN (Personal Area Network): datuen transmisiorako erabiltzen den sarea da. Komunikazioa ordenagailu, mugikor eta personal digital assistants-en artean gertatu ohi da. Aurrerago aztertuko diren Bluetooth edo ZigBee teknologien bidez inplementatu daitezke, sagu, teklatu eta abar-entzako esaterako.

LAN (Local Area Network): kasu honetan, komunikazioa konputagailuaren eta esparru txiki baten artekoa da, izan ere, sare hauen hedatzea fisikoki eraikin bati edo 200m-ko ingurune bati mugatua dago. WiFi teknologiaz baliatzen da adibide honetan.

Mobile Systems: GPRS-a eta 4. generazioko mugikorrak.

Indoor lokalizazio sistemak eraikinen barnean esparru zehatz batean lan egiteko prestatuta daude, haren aplikazioak ugariak izan daitezkeelarik; erroboten kontrola, laguntza eta erreskate sistemak adineko pertsonen asistentziarako, edota aireportu, museo eta antzeko eraikin handietan gida gisa.

1.3.1 LOKALIZAZIORAKO TEKNIKAK

Atal honetan, lokalizazio metodoak aztertzeari ekinen zaio, ostean, nabigazio sistema bat sortzeko helburuarekin[2].

Sistema hauetan gailuek bi funtzio izan ditzakete: alde batetik, morroiak daude orokorrean estati-koak direnak; bestetik, berriz, nagusia lokalizazioa egiteko nahitaezkoa. Horien artean, elkarrekintza bat dago; nagusiak informazio eskaera bat igortzen die morroiei eta horiekk erantzundakoan lokalizaziorako beharrezko duen magnitudearen berri du nagusiak.

Erabil daitezkeen magnitudeak ugariak dira:

Helduera denbora (ToA): jakina da harreman lineala dagoela seinaleen propagazioan denboraren eta distantziaren artean. Teknika honek harreman hori hartzen du oinarritzat, eta gero aurrerago azalduko den trilaterazioa erabiltzen du. Erabilia da oso GPS sistemetan, baina gailuen erabateko sinkronizazioa eskatzen du, gailu bakoitzak real-time erloju bat beharrezko duelarik. Erlojuak izan ditzakeen bariazio txikiek ziurgabetasuna sor dezakete. Round-trip Time of Flight (RTof)¹ erabiliaz sinkronizazio arazoak saihestu daitezke.

Helduera angelua (AoA): kasu honetan, beharrezkoa da morroiek gutxienez bi antena izatea. Seinaleen errezeptzio denboren desberdintasuna dela medio morroiak nagusiarekiko duen angelua eza-gutu daiteke, ondoren triangulazio izena duen lokalizazio teknika erabiltzeko. Teknika honek emaitza onak eskaintzen ditu, baina gailu guztiek ez dute hardware hori onartzen; gainera, bi antenekikoak garestiagoak izan ohi dira.

Jasotako seinalearen indar adierazlea (RSSI): nagusiak morroiak igorritako seinalearen potentzia neurtuz eta hau distantziaren karratuarekiko txikituz doala jakinda, RSSI eta distantziaren arteko harremana eskuratzea aski da haien arteko distantzia ezagutzeko. Honen abantaila nabarmenena, bi gailuen artean ikusmen zuzenik behar ez izatean datza. Desabantaila nagusia berriz, aipatutako magnitudearen oztopoen seinale xurgapen zein erreflexuekiko sentikortasunean datza.

Magnitudearen balioa ezagutzen denean, lokalizazio metodo bat aukeratu beharra dago:

Triangulazioa: triangulu baten bertizeak zein haren barne angeluak ezagunak izanik, posible da trianguluaren barnean kokatuta dagoen edozein punturen posizioa kalkulatzeko. Horretarako, ber-

¹Distantziak neurtzeko gai den metodoa seinaleak helmugara iristeko behar duen denboran oinarriturik.

tize bakoitzean morroi bat egonen da kokaturik eta nagusiak AoA magnitudea kalkulatu du.

Trilaterazioa: triangulazioak angeluak erabiltzen dituen bitartean, honako teknika distantziaz baliatzen da soilik. Horretarako, gutxienez hiru morroi behar dira. Horien antenek seinalea modu isotropo batean igortzen dutela onarturik, hirurek sortzen duten zirkunferentzien arteko elkargunean egonen da kokaturik nagusia. Horretarako, azken honek RSSI balioaren eskaera egingen die morroiei.

Hatz-markak hartzea (Fingerprinting): teknika honek datu-base bat du beharrezko, zeinean lehenago neurtutako magnitudeen balioak gordeta dauden. Honela, nagusiak eskuratutako magnitudea datu-basean duen informazioarekin alderatzen saiatzen da k-nearest algoritmoa² erabiliaz horretarako. Teknika honetaz baliatu aurretik, ezinbestekoa da, beraz, gunearen magnitudearen plano egi-tea. Honek oztopoek zein paretek sor ditzaketen erroreak txikitzen ditu, atenuazioak berdinak baitira kalibrazio zein lokalizazio momentuan. Honela, kalkulu matematikoak gutxitzen diren arren, espazioan egon daitezkeen aldaketek erroreak sortzen dituzte.

Lan honetan erabiliko den lokalizazio sistema, RSSI magnitudearen neurketan eta trilaterazioan oinarrituko da, horien erabilpenak dakarten abantailak eta eskura dagoen hardware-aren ezaugarriak direla eta.

²Gainbegiraturako sailkapen metodoa, estimazioa entrenamendu eta prototipo multzoetan oinarritzen da.

2

Sistemaren azterketa eta eraikuntza

LURREKO EDO ETXEKO ERROBOTEK beste inguruneetan mugitzen diren errobotekin konparatuta dakarten erraztasunak direla eta, lur gainazal batean higitzeko gai den errobot mugikor bat eraikiko da. Era berean, mugitzeko hainbat modu daude, baina horien artean ezagunena eta ohikoena abantaila praktikoak direla eta, gurpilekiko gailuak dira. Izan ere, hauen eraikitze prozesua errazagoa eta sinpleagoa da; eta, normalean, eraman dezaketen pisua, handiagoa izan ohi da.

Gurpilekiko errobot mugikorren desabantaila handiena lurrazal irregularretan topatzen dituzten arazoak dira. Orokorrean, gurpilekiko ibilgailu bat bere gurpilen erradioa baino txikiagoak diren oztopoak gainditzeko gai izanen da. Kontua, gainditu behar diren oztopoak baino erradio handiagoa duten gurpilak erabiltzea litzake, baina hau ez da beti konponbiderik egokiena izaten. Hala ere, lurrazal lau batean lanean arituko delakoan eta kostuak minimizatzearen gurpilekiko ibilgailua eraikitzea erabaki da.

Aipatutako ezaugarriak dituen errobot mugikor bat eraikiko dela oinarritzat izanik, gai honetan, errobot baten eraikuntzan beharrezkoak diren atal nagusiak eta haien nondik norakoa aztertuko da. Honakoak dira aipatutako funtsezko atalak: sistema elektromekanikoa, xasisa, kontrolerako elektronika, sensore eta eragingailuak eta komunikazio sistemak. Horietako bakoitzean luze hitzegin daitekeen arren, horien sarrera labur bat eta errobotaren eraikuntzarako aukeratutako elementuez hitzeginen da soilik.

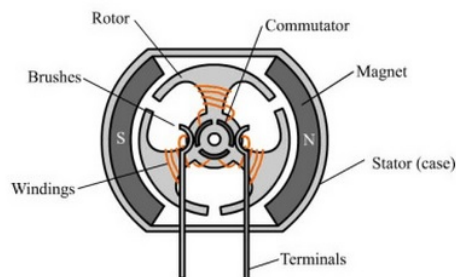
2.1 SISTEMA ELEKTROMEKANIKOA

Sistema elektromekanikoa artikulazio desberdinen bidez lotutako egitura zurruna da. Honakoa, aurrerago aztertuko diren eragingailuei esker mugituko da (motorrak), zeintzuek mugimendua transmitituko baitiete errobotaren artikulazioei, gurpilei kasu honetan, lehen esan den bezala.

TRAKZIOA

Trakzio sistema lurrazalari indarra eragiten dioten elementuek osatzen dute. Aldi berean errobotarengan magnitude bereko baina kontrako zeinuko indarra eragiten dute, errobota mugiaraziz (Newtonen 3. legea). Atal honetan, erabiliko diren motore eta gurpilak aztertuko dira:

Motorrak: motorra energia ez-mekanikoa, eolikoa, kimikoa, elektrikoa edo termikoa energia mekaniko bilakatzen duen gailua da. Kasu honetan, helburua energia elektrikoa mugimendu bihurtzea izanen da. Ugariak dira aukerak, baina errobotikan, kostu baxua dela eta, erabilienetako bat korrante zuzeneko motorra (DC) izaten da.



Irudia 2.1.1: Korrante zuzeneko motor baten itxura

DC motorrak, kanpo iman iraunkor batez eta motorraren ardatzaren inguruan ezarritako bobina elektromagnetikoz osaturik daude. Eskuila batzuk motorraren ardatzean kokaturiko metalezko elementu batzuen gainean irristatzen dira eta potentzia bobina batetik bestera kommutatzea lortzen da. Honela bobinek sortutako eremu magnetikoek imanarekiko etengabeko erakarpena eragiten du, eta ondorioz, gurpila norabide berean higitzea lortzen da.

Gurpilak: ardatz baten inguruan bira egiten duen pieza mekanikoa da honakoa. Gurditxo erakitzeko bi gurpil erabili dira bakoitzak bere motorra duelarik, bai eta *caster-ball* bat euskarri gisa.

2.2 XASISA

Errobot baten formak haren errendimenduan sekulako garrantzia izan dezake; esaterako, zilindro itxurakoa ez den errobot batek oztopo ezberdinetan trabatuta gelditzeko arrisku handiagoa du, bai eta zailtasun handiagoak ere ibilbide estu batean mugitzeko.

Har bitez aintzakotzat neurri bereko eta itxura desberdineko -bata zilindrikoa eta bestea karratuabi errobot, zeinak bide estu batean zehar higitzen diren. Algoritmo erraz baten bidez errobot zilindrikoa oztopoz beteriko gunetik pasako da: errobotak oztopoaren aurka talka egingen du, zertxobait biratu eta berriro saiaturiko da oztopoa saihesten bertatik irten arte. Kasu honetan, errobota biratzeko gai da nahiz eta oztopoarekin kontaktuan izan, mugimenduaren algoritmoa errazten duelarik.

Errobot karratuaren kasuan ordea, kontzeptu bera erabili nahi bada, honek atzera egin beharko luke lehendabizi eta ostean biratu. Ibilgailu karratuek beraz algoritmo konplexuago bat behar izaten dute. Honen arrazoia ulertzeko, errobotikan *espazioaren konfigurazioa* izenez ezagutzen den kontzeptura jo beharko litzake.

2.2.1 DISEINUA

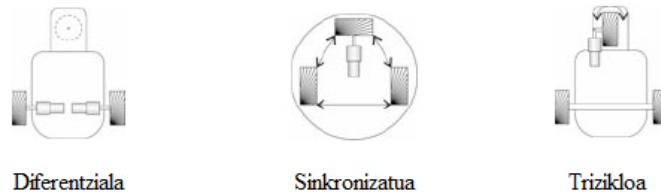
Gurpilekiko plataforma bat eraikitzeke orduan gurpil kopuru eta horien kokaera oinarritzat hartuta diseinu ugari ageri dira: diferentziala, triziklo edo kotxe modukoa.

Diferentziala: programazio zein eraikuntza aldetik diseinu diferentziala da lokomozio sistema sinpleena. Gurpil bakoitzak bere mugimendua du eta honi esker, errobota zuzen higi daiteke, haren buruarekiko bira eman, bai eta bihurguneak egiteko gai izan. Diseinu honek agertzen duen arazorik aipagarriena oreka mantentzean datza; oreka lor daiteke lagungarri izanen diren beste gurpilen laguntzaz, hauek diseinu triangeluar edo erronboidal batean kokatuz. Diseinu triangeluar hau batzuetan ez da nahikoa izaten errobotaren zamaren distribuzioa dela eta, bestetik, lurrazala irregularra baldin bada, diseinu erronboidalak lurrazalarekiko inadaptazioa ekar dezake, suspentsio mota baten beharra izanik.

Diseinu honetan, kontuan izan beharreko garrantzizko beste puntu bat errobota zuzen higitzeko gaitasunean datza, izan ere, horretarako ezinbestekoa da gurpila guztiak abiadura berean higitzea. Motorrek erresistentzia topatzerakoan, motorren abiadurak aldatu egiten dira, errobota biratuz, nahiz eta hasiera batean zuzen higitzeko konfiguraturia izan. Honek esan nahi du abiadurak dinamikoki kontrolatua izan behar duela; hau da, diseinu honek nahitaezkoa du ibilgailua aurrera doan bitartean

motorraren abiadura monitorizatzeko eta aldatzeko bitartekari bat.

Horrela, hasiera bateko sinplizitatea gutxitu egiten da, kontrol sistemaren konplexutasuna dela eta. Hala ere, konplexutasun mekaniko eta elektronikoak bai eta software-ren konplexutasuna ere handitu arren, hautagai on, merke eta fidagarri izaten jarraitzen du diseinu diferentzialak.



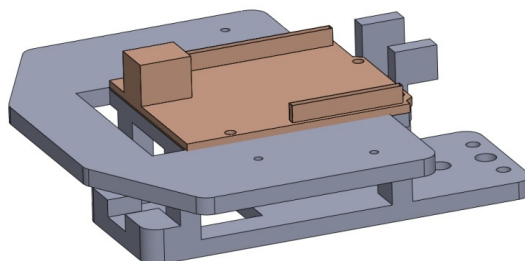
Irudia 2.2.1: Diseinu diferentziala, sinkronizatua eta triziklo motakoa hurrenez hurren.

Higidura sinkronizatua: kasu honetan gurpil denak dira gidagailu eta eragile (orokorrean hiru), lotuta egon ohi direlarik norabide berera begiratzeko. Errobotaren norabidea aldatzeko gurpil denek aldi berean biratu behar dira haien ardatz bertikalarekiko; modu horretan, ibilgailuaren norabidea aldatu egiten da, xasisak toki berera begiratzen duelarik. Gailua asimetrikoa bada, sentsoreak alde batean edo bestean baldin baditu esaterako, sistemaren bat erabili beharko litzake haren gorputzak gurpilen norabideekin bat egin dezan. Esan daiteke beraz, diseinu sinkronizatuak diseinu diferentzialak agertzen dituen hainbat arazo konpontzen dituela baina honen konplexutasun mekanikoa handiagoa dela.

Kotxe eta triziklo diseinua: kotxe diseinuak, haren lau gurpilekin, egonkortasun ona eskaintzen du. Era berean, triziklo diseinuak ere errendimendu egokia du, mekanikoki sinpleagoa delarik. Gurpilak lotuta daude eta orokorrean diseinu hauetan gurpil direkzionalak ez dira eragile; ondorioz, ez da beharrezkoa motorren abiadura kontrolatzea gailua zuzen ibil dadin.

2.2.2 ERAIKUNTZA

Eskura dagoen materiala dela eta, bai eta haren sinpletasunagatik, diseinu diferentziala eraikitzea erabaki da. Xasisa sortzeko fakultatean eskura dagoen Cubex Duo 3D inprimagailuaz baliatu da. Jorge Feuchtwanger-en laguntzaz SolidWorks programaren bitartez egin da, diseinuaren emaitza 2.2.2 irudian agertzen delarik.



Irudia 2.2.2: Egindako xaxisaren diseinua.

Diseinurako, orain arte aipatutako ezaugarriak izan dira kontuan, baina ez hori bakarrik; bateria piztu eta haren egoera zein den ikusteko hutsunea utzi da, kableak babesten saiatu da eta pisua aurrerantz utzi da, jarriko den gurpil zoroa errobotaren euskarri izan dadin.

2.3 KONTROLERAKO ELEKTRONIKA

Sistema honen helburua errobeta kontrolatzea izanen da, nolabait adimendun bihurtuz. Kanpo sentsoreen informazioa haren sarrerako datu izanen da. Bestetik, sistema honen irteerek errobotaren eragingailuak izanen dituzte helburu.

2.3.1 ENERGIA ITURRIAK

Kostua baxua izan dadin eta sinplifikazio arrazoiak direla eta, eraikiko diren sistemak elikatzeke energia iturri bakarra erabiltzea erabaki da.

Bateria: erabili den bateria Li-Ion motako energia bankua izan da. Izan ere, hauen osagaiak arinak izateaz gain edukiera energetiko altua izan ohi dute, eta era berean, deskargarekiko erresistentzia eta memoria efektu txikia jasaten dute. Hori dela eta, forma eta tamaina txikiko metagailu ugari sortu dira kontsumo handiko elektronika aplikazioetarako.

Honakoak dira RS 7757504 bateriaren xehetasun aipagarrienak:

RS 7757504
LED-ak bateriaren karga egoera agertzen du.
Irteerako korrante nominala: 1 A - 5 V
Edukiera: 2.200 mAh
Kimika: ion litio polimeroa
Neurriak: 92 x 23 x 23 mm
Pisua: 0.076 kg
Prezioa 13,87 €

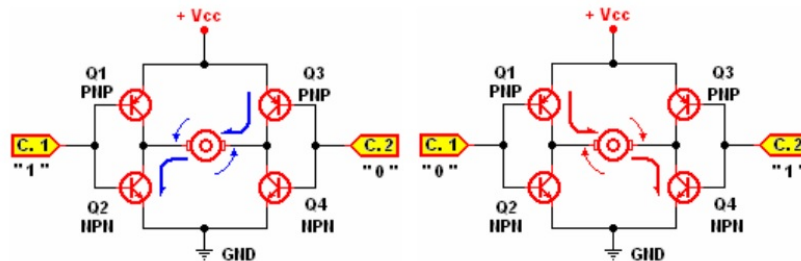


2.3.2 POTENTZIA ETAPA

Kontuan izan beharreko lehenengo arazoa motorrak nola elikatu izan ohi da mikrokontroladorearen irteerako korrantea ez baita nahikoa izaten, hori dela eta, transistoreak erabili dira seinaleen aplikaziorako. Atal honetan, mikrokontrolagailuaren irteerak eta H zubia erabiliz, motorren abiadura eta biraketa zentzua alda daitezkeela ikusiko da.

H zubia: lehenago aipatu den bezala erabili diren DC motorrak zentzu bakar batean biratzeko gai dira gailu honi esker, ordea, beste norabide batean biratzea ere lortuko da.

H zubia konmutazioan lanean dabiltzan 4 transistorez dago osatua. C.1 eta C.2 seinaleek dute eten-gailu gisa jokatzeko duten transistoreen kontrola. Laburbilduz, honakoa izanen litzake funtzionamendua:

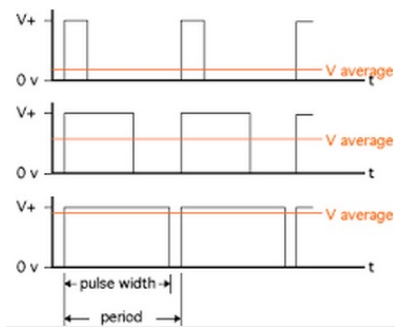


Irudia 2.3.1: H zubiaren funtzionamendua.

- C.1 aktibatzen bada C.2 seinaleak off jarraitzen duen bitartean Q₂ eta Q₃ transistoreak saturazioan sartuko dira eta Q₁ eta Q₄ etenduran egonen dira. Egoera honetan motorra zentzu batean biratzen da, esaterako, erlojuen kontrako zentzuan irudian ageri den bezala.
- Sarrerak aldatzerakoan ordea, saturazioan sartzen diren transistoreak Q₁ eta Q₄ izanen dira kasu honetan, beste biak (Q₂ eta Q₃) etenduran daudelarik. Horrela motorra beste zentzuan hasiko da biratzen.

PWM bidezko abiaduraren kontrola:

korrente zuzeneko motor baten abiadura haren erzteetan neurtzen den batez besteko tentsioaren menpekoa da. DC motore baten abiaduraren kontrolean erabiltzen den sistemetako bat TTL itxurako seinale karratu baten pultsuen zabaleraren modulazioaren bitartekoa da, PWM (Pulse Width Modulation). PWM kontrolpean motorraren abiadura bat edo beste izanen da seinale karratuaren batez besteko tentsioaren arabera.



Irudia 2.3.2: PWM seinaleen itxura.

Motorrari entregatzen zaion batez besteko tentsioa seinalearen formaren arabera izanen da bezaraz. Irudian azter daitekeen bezala, seinalea altu mantenduz seinalearen lan zikloa aldatu egingen da, batez besteko tentsioa handituz, eta ondorioz, abiadura azkartuz.

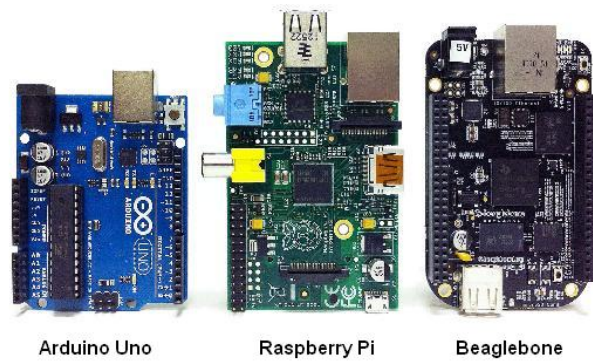
2.3.3 MIKROKONTROLAGAILUAK

Prozesatzeko unitate zentral (PUZ) bezala ere ezaguna, exekutatzeko ari den programaren aginduen interpretazioa eta beharrezkoak diren kontrolerako seinaleak sortzea du helburu. Mikrokontrolagailuen kasuan ez da Von Neuman arkitektura erabiltzen baizik eta Harvard izeneko, zeinean mapa eta bus independenteak erabiltzen diren agindu eta datuentzako. Arkitektura honek datuen kontsulta zein aginduen exekuzioa paraleloa izatea ahalbidetzen du.

Gaur egungo mikrokontrolagailuen prozesadoreak RISC (Reduced Instruction Set Computer) izeneko arkitekturaren oinarritzen dira, zeinak makina-lengoiaren agindu-kopuru murriztu bat ezagutzen duen.

MIKROKONTROLAGAILUEN AZTERKETA ETA AUKERAKETA

Gaur egun, mikrokontrolagailu eta plataforma ugari topa daitezke merkatuan. Aukera ugari izanik, eta hauek agertzen dituzten abantailak direla eta, Arduino, Raspberry Pi eta BeagleBone-en zentratuko da bereziki mikrokontrolagailuen azterketa. Izan ere, hirurak dira eskuragarriak, merkeak, gutxi gora behera tamaina berekoak eta hirurek aplikazio ugari inplementa ditzakete. Horien arteko konparaketa egin aurretik bakoitzaren deskribapen labur bat egingen da jarraian.



Irudia 2.3.3: Arduino Uno, Raspberry Pi eta BeagleBone hurrenez hurren.

Arduino, haren prezio, garapen erraztasun eta aukera anitzak direla eta, azken urteetan indar handia hartu duen open-hardware plataforma bat da. Hiruron artean BeagleBone da agian gutxien ezagutzen dena baina aukera ona izan daiteke proiektu askoren garapenean; izan ere, Linux konputagailu txiki bat da, Altoids mint container batetan (marka ezagun baten menda goxokien edukiontzitxo) sartuko litzakeena, publizitateak dioen bezala. Azkenik, Raspberry Pi izan da agertu den azkenetarikoa. Hau ez da txertaturiko konputagailu bat, baizik eta biziki merkea den benetako mahi gaineko ordenagailu osoa. BeagleBone-a da, ezinbesteko osagaiak besterik ez dituen, baina 35\$-engatik esku-ragarri izanda, kontuan hartzeko modukoa, plataforma egokia baita proiektu askorentzat[3]. Horien ezaugarrien arteko konparaketa ageri da A eranskinean.

Errobot mugikor honen eraikuntzan honako ezaugarri hauek izan dira gogoan: lehenik eta behin prezioa, jarraitzeko efizientzia eta azkenik kontsumoa; izan ere, aplikazio baten baliagarritasunari daude lotuta prezioa bai eta eraginkortasuna ere. Gainera, errobot autonomo baten bizi iraupena oinarrizko ezaugarria da eta komeni da ahalik eta luzeena izatea, hark duen kontsumoari erreparatzea nahitaezkoa izanik.

Ezaugarri horiek kontuan izanik aurkeztutako plataforma denek eskaintzen dituzte abantailak zein desabantailak. Esate baterako, Arduinok prezio eta kontsumo txikia eskaintzen du; hala ere, ez da gai izanen konplexuak diren hainbat programa exekutatzeko aldi berean, izan ere, haren erlojuaren abiadura bestea baino 40 aldiz txikiagoa baita eta 128.000 aldiz txikiagoa den RAM-a baitu. Ondorioz, Arduinok prezio eta kontsumo txikia duen arren, Raspberry Pi eta BeagleBone askoz ere potentetagoak dira. Bestetik, azpimarratu beharra dago, bai Raspberry Pi-k bai eta BeagleBone-k linux sistema operatiboarekin egiten dutela lan. Azkenik, Arduino-k oso diseinu sinplea du, beharrezkoa den kable kopurua minimizatuz eta maila baxuko C++ lengoian programa daiteke.

Aipatutako ezaugarriak kontuan izanik, aplikaziorako plakan nahikoa memoria izanen duelako, ikaskuntza kurba horren aldapatsua ez izateagatik eta informazio iturri garrantzitsuak dituelako, Arduino plataforma aukeratu da hiruren artean.

ARDUINO

Aipatu den bezala, Arduino zuzenean erabiltzeko eta prototipoak sortzeko prest dagoen open-hardware plataforma da. Haren irteeratan sentsoreak jarritz gero, gai da ingurutik informazioa eskuratzeko bai eta argiak, motorrak eta beste gailu batzuk kontrolatzeko ere. Arduino programazio lengoia programatzen da Arduino IDE-ren bidez (Processing-en oinarritutakoa)[4].

Aurreko atalean Arduino plataforma orokorrean aztertu den arren, hainbat aplikaziora bideratuta dauden *board* ugari daude. Esaterako, LilyPad izeneko arropan josi daiteke, arroparekin zerikusia duten aplikazioetarako aproposa izanik. Arduino Yún berriz, aztertutako Raspberry Pi eta BeagleBone-era hurbiltzen da, Linux sistema integratuta bai eta WiFi-a ere baduelako.

Erabiliko den Arduino Uno-a USB kable baten bidez ordenagailu batera konekta daiteke eta funtzio bereziak betetzen dituzten shield ugari onartzen ditu; horien artean, haririk gabeko komunikazioa bermatzen duen XBee *shield*-a erabiliko da proiektu honetan[5].

PROGRAMAZIO LENGOAIA

Esan bezala, mikrokontrolagailua programatzeko, Arduinok Processing proiektuan oinarritutako programazio -ingurune (IDE) bat dauka, C eta C++ programazio lengoaiak erabili ditzakeelarik.

C++ programazio lengoia, C programazio lengoiaaren luzapen gisa agertu zen. Bjarne Stroustrupek diseinatu zuen 80. hamarraldian. Konpila daitekeen lengoia hibridoa da, C programazio lengoia ezagutzen dutenentzako ikastea erraza suertatzen delarik. Estandar bat ere badago, ISO C++ deritzona. Programazio lengoia honen ezaugarri nagusiak honakoak dira:

- Datuen abstrakzioa (kapsulagarritasuna) jasaten du.
- Programazio generikoa (txantiloak, ingelesez template kontzeptua) jasaten du.
- Objektuei orientatutako programazioa (eta beraz, polimorfismoa) jasaten du.

Bestetik, datuen prozesaketarako Python lengoia erabiliko da. 80. hamarraldian sortua, interpretatutako programazio lengoia bat da, ardatz bezala sintaxi garbi, erraz eta irakurgarri bat duelarik.

Paradigma anitzeko lengoia bat da, objektuetara zuzenduriko programazioa, programazio inperati-boa eta, neurri txiki batean, programazio funtzionala jasaten ditu eta.

2.4 SENTSORE ETA ERAGINGAILUAK

Sentsorea magnitude fisikoa edota kimikoa magnitude elektriko bihurtzen duen osagai elektronikoa da.

Orokorrean, esan daiteke sentsore bitarrak eta sentsore analogikoak aurki daitezkeela. Lehendabizikoek bi balio esleitzen dituzte: ON eta OFF, Bai ala Ez. Sentsore analogikoek berriz, edozein balio esleitzen dute. Normalean, seinale elektriko horiek egokitu egiten dira ostean prozesatu ahal izateko.

Bestetik, eragingailuak dira energia hidraulikoa, pneumatikoa edota elektrikoa eraldatu eta prozesu automatizatu bat kontrolatzeko gai diren gailuak. Azken finean, hauek, kontrolagailu edo erreguladore baten agindua jasotzen dute, eta, haren arabera, kontrol elementu bat aktibatzen dute. Eragingailu mota ugari topa daitezke merkatuan: elektrikoak, hidraulikoak, pneumatikoak eta elektronikoak, besteak beste.

Errobototetan erabil daitezkeen sentsore eta eragingailuak ugariak dira, oso aukeraketa zorrotz baten beharra izanik. Gailuak izanen dituen funtzioak kontuan hartuta, oztopoak gainditzeko gai izan dadin, hurbiltasun sentsore bat erabiltzea erabaki da, haren mugimenduak kontrolatzeko berriz, joystick batez baliatuko da.

Hurbiltasun sentsorea: hurbiltasun sentsoreek haien inguruan dauden objektu edo seinale desberdinak detektatzea dute helburu. Erabiltzen duten printzipio fisikoaren arabera, mota desberdinetan sailkatzen dira. Ohikoenak detektore kapazitiboak, induktiboak eta fotoelektrikoak dira.

Erabiliko den hurbiltasun sentsorea HC-SR04 ultrasoinuen bidez objektuak antzeman ditzakeen sentsorea da. Haren bidez, oztopoa non dagoen jakin daiteke 2 - 450 cm bitartean. Esan bezala, sentsorea ultrasoinuen igorpenean oinarritzen da eta neurrak egiteko gai den elektronika guztia dakar harekin. Haren erabilera erraza da: irteerako pultsua igorri eta itzulerako seinalearen pultsuaren zabalera neurtu besterik ezta egin behar. Tamaina eta kontsumo txikikoa da. Prezisio oneko eta kostu txikikoa izanik, azken urteetan polaroid sentsoreak ordezkatzeko hasia da. Hona hemen haren ezaugarri batzuk:

HC-SR04
Lan frekuentzia: 40 KHz
Neurketa tartea: 1.7 cm-tik 450 cm-ra.
Elikadura: 5 Vcc
Neurketen arteko denbora tartea: 20 ms
Neurriak: 43 x 20 x 17 mm
Pisua: 0.010 kg
Prezioa 2 €



Irudia 2.4.1: Hurbiltasun sentsorearen ezaugarri eta itxura.

Joystick-a: bi edo hiru ardatz dituen kontrolerako gailua da, zeina ordenagailu, nahiz bideokontsola edota gaur egun hegazkinetan ere erabiltzen baita.

Normalean, joystick-ak bi motatakoak izan ohi dira: alde batetik, digitalak daude eta, bestetik, analogikoak. Digitalak gurutze forman kokaturik dauden lau etengailu izaten dituzte eta hauen aktibazio konbinaketen arabera, hainbat funtzio betetzen dituzte. Analogikoek ordea, potentziometroak erabiltzen dituzte ardatzen egoera etengabe irakurtzeko helburuarekin, gainerako botoiak dituztelarik hainbat agindu bete ahal izateko. Doitasunari erreparatu, analogikoak izaten dira egokienak; hori dela eta, hauen lan egiteko eraren berri emanen da jarraian.

Potentziometro bakoitza erresistentzia batean oinarritzen da, zeinak pista bat eta kontaktu mugikor bat duen. Kontaktu mugikor hau pistan zehar mugituaz, erresistentziaren balioa aldatuz doa, zirkuitutik pasatzen den korrontea aldatzen duelarik. Egiten diren mugimenduei esker, gertatzen diren intentsitate aldaketek prozesadoreari adierazten diote momentu bakoitzean zer egin behar duen. Kasu honetan, seinalea analogikoa da hurrengo pausu bat beharrezkoa izanik, informazio hori erabilgarria izateko; aldaketa analogiko-digitala.

Errobotaren urrutiko kontrolerako, SainSmart JoyStick SKU:20-011-944 gailua erabiliko da, ondoak izanik haren ezaugarriak:

SainSmart Joystick
Protoboardarekin konexio erraza.
10K-ko bi potentziometro independente lur amankomunarekin.
Erdigunerako itzulera azkarra.
Neurketen arteko denbora tartea: 20 ms.
Neurriak: 11 x 8 x 2 cm.
Pisua: 0.015 kg
Prezioa: 2,72€



Irudia 2.4.2: Joystick-aren ezaugarri eta itxura.

2.5 KOMUNIKAZIO SISTEMAK

Mezu bat espazio zein denboran transmititu ahal izateko, komunikazio sistema bat behar da. Komunikazio sistemek, informazioa mezuaren iturri den puntutik helmugaraino daramate kable bitartez edota uhinen bitartez. Atal honetan, erabilitako komunikazio sistemen berri emanen da.

2.5.1 PC-ARDUINO

Arduino txartelaren helburuetako bat gailu interaktiboak sortzean datza, hau da, ez da soilik datuak jasotzeko txartel bat, baizik eta erabiltzailearen nahien arabera gauza bat edo beste egiteko gai diren aplikazioak burutzeko tresna da. Horretarako, funtsezkoa da erabiltzaileak txartelarekin komunikatu ahal izateko oinarrizko bitartekariak. Aukerarik begi bistakoena gailua etengailu eta beste hainbat eragingailuen bidez hornitzea izanen litzake, gailuak erabiltzailearen nahien berri izan dezan, iratzargailuen kasuan egiten den bezala. Bada, ordea, beste komunikazio sistema bat gailua ukitzeko beharrik agertzen ez duena: seinaleen bidezkoa, hain zuzen ere.

Arduinoren txartelekin komunikatzerakoan, ohikoena, komunikazio serial izena duen sistema erabiltzea da, zeinean USB (Universal Serial Bus) kable batez baliatzen den, nahiz eta beste prozedura batzuen bidez ere komunikatu daitekeen, hala nola, Arduino Yun txartelaren kasuan WiFi bitartez. Era berean, informazioa ordenagailua ez den beste gailuetatik ere etor daiteke, hurrengo atalean azalduko den bezala.

Honela, Arduino plakaren kasuan, USB kable honek hiru funtzio bete ditzakeela esan daiteke:

Lehendabizi, txartela martxan jarri baino lehen, erabiltzaileak garatutako programa makina lengoaiari txartelean sartzeko balio du. Prozedura hau ezinbestekoa da, baina programaren bidalketa egin ostean, Arduinok ez du ordenagailuaren beharrik lanean aritzeko.

USB kablearen bigarren eginkizuna, mikrokontroladorea korrante elektriko hornitzea izanen litza-ke, 5 volt-ekin hain zuzen ere. Kasu honetan, txartelak ordenagailuaren beharra du martxan jartzeko, bere energia iturria baita. Hala ere, hau ez da USB kablearen oinarritzko funtzio bat, Arduino prest baitago beste energia iturri batzuk erabiltzeko, pilak esaterako. Horretarako, USB sarreraren alboan kanpo-sarrera bat dago, zeinak 7 - 12 volt tartean egin dezakeen lan. Bi hauen arteko desberdintasun bakarra bigarren honetako voltai handiago bat behar duela da, izan ere, Arduino gai da lanerako behar dituen 5 volt-eko tentsioa egonkortzeko. Lan hau egin dator, ordea, ordenagailua korrante iturri gisa erabiltzen bada.

Bukatzeko, USB kableak beste eginkizun bat badu, PC eta txartelaren artean informazioa modu ego- kian jaso eta bidaltzearena, aipatutako serie komunikazioa deritzonaren bitartez.

Komunikazio seriala informazioa bitetan bidaltzean oinarritzen da haien transmisioa sekuentziala delarik, hau da, bit bakarra bidaltzen da aldi berean, igorle eta hartzaileak adostutako abiadura ba- tean. Ordenagailuen komunikazio serialak 1969an definitutako estandarra jarraitu du: RS-232-a (Recommended Standard 232)[6], zeinak tentsio maila desberdinak zein abiadura ezberdinak ezar- tzen dituen. Informazioa modu horretan igortzen dituzten hainbat portu badira. Gaur egun, portu seriala delakoa, USB portuaren bidez izan da ordezkaturia, erabilera anitzak eskaintzen baititu.

Hala eta guztiz ere, ezinbestekoa da ordenagailua prestatzea informazioa jasotzeko eta bidaltzeko. Modu erraz bat, baina ez bakarra, Arduinoren software-ak dakarren pantaila seriala irekitzean datza.

2.5.2 ARDUINO-ARDUINO

Joystick-aren bidez erroberta kontrolatu ahal izateko eta hark jasotako informazioa berreskuratzeko, komunikazio sare bat sortzea ezinbestekoa suertatu da. Atal honetan, hainbat komunikazio bide aztertuko dira, haren aukeraketa ahalik eta fidagarriena izan dadin.

KOMUNIKAZIO BIDE DESBERDINEN AZTERKETA ETA AUKERAKETA

Bideak ugariak izan daitezkeela kontuan izanik, azterketa bakan batzuen artean egin da: Bluetooth, UWB, ZigBee eta Wi-Fi protokoloena hain zuzen ere, zeintzuek IEEE 802.15.1, 802.15.3, 802.15.4, eta 802.11a/b/g estandarrak jarraitzen dituzten, hurrenez hurren.

Bluetooth: bluetooth-a kobertura txikiko haririk gabeko irrati sisteman oinarrituta dago. Erabilita- ko gailuak merkeak izan ohi dira; eta, normalean, ordenagailuen gailu periferikoen kablirik gabeko

kontrolerako erabiltzen da, hala nola, saguen, teklaturen, joystick-aren eta inprimagailuen konexioentzako. Aipatutakoa haririk gabeko lan sare pertsonal (WPAN) bezala ezagutzen da.

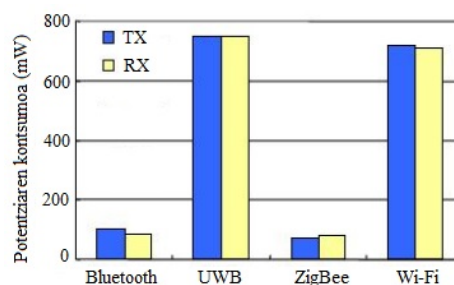
WiFi: honek IEEE 802.11a/b/g estandarra jarraitzen du, haririk gabeko sare lokalean lan egiteko (WLAN), erabiltzaileei interneten ibiltzeko aukera ematen dielarik.

ZigBee: ZigBee IEEE 802.15.4 barnean, WPAN-en (LR-WPAN) espezifikazioak definitzen ditu kontsumo txikia duten eta normalean POS-en (personal operating space) lan egiten duten gailuen sostengu izateko. Berrantolakuntzarako, jauzi anitzentzako eta maila motako sare fidagarria eskaintzen du, era berean, baterien biziraupen luzea bermatzen duelarik[7].

UWB IEEE 802.15.3: azkenaldian, UWB-k jakin-min handia sortu du abiadura altuko eta esparru txikiko haririk gabeko gela barneko komunikazioetan. Komunikazio mota honen ezaugarri deigarrienetako bat, haren banda zabalera 110 Mbps baino handiagoa dela da, zeina oso egokia den audio eta bideo multimedia aplikazioetarako, besteak beste.

Aipatzekoak dira bereziki, protokolo bakoitzak eskaintzen duen segurtasuna eta erabil ditzakeen gailu kopurua ere. Protokolo hauen arteko konparaketa gehitu da A eranskinean. Ordea, taulan ageri ez arren, proiektu honetan guztiz garrantzitsua den ezaugarria da potentziaren kontsumoa.

Bluetooth eta ZigBee-k potentzia kontsumo baxua eskaintzen dute, zenbait kasutan eragin neurgarririk ez dutelarik baterien bizitzan. Bestetik, UWB irismen laburreko eta datu-abiadura altuetako aplikazioetara dago zuzenduta; Wi-Fi berriz, konexio luzeetarako dago diseinatuta, eta energia iturri nabarmenak behar dituzten gailuak erabiltzen ditu. Honela bada, bit-tasan oinarrituta, normalizaturako energia kontsumoaren konparaketa ageri da 2.5.1 irudian[8].



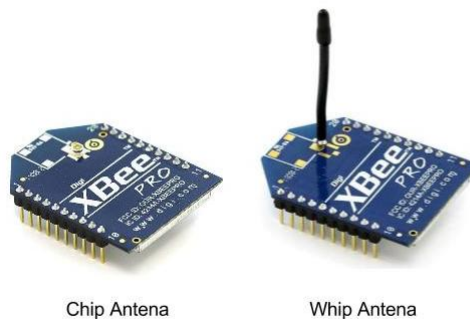
Irudia 2.5.1: Bluetooth, UWB, ZigBee eta Wi-Fi protokoloen kontsumoa, hurrenez hurren.

Argi dago, Bluetooth eta ZigBee protokoloak egokiak direla kontsumo baxuko aplikazioetan, gailu mugikorretan eta sentsore sareetarako esaterako.

Bi hauen artean, besteak beste Arduino plataformarekin duen bateragarritasuna dela eta, Digi Internationalek eskaintzen dituen XBee moduluak erabili dira ZigBee protokoloa oinarritzat dutelarik.

2.5.3 XBEE MODULOAK

XBee moduluak bere baitan ZigBee transmisore-hartzaile eta prozesadore bat duten gailuak dira, zeintzuek erabiltzaileei aplikazioak era erraz eta simple batean garatzea ahalbidetzen dieten. Gailu hauek bi motatakoak izan daitezke, alde batetik lehenengo seriea eta bestetik bigarrena dago, 2.5 bezala ere ezaguna. Pin-out berdina duten arren, garrantzizkoa da aipatzea ez direla bateragarriak, chipset eta protokolo desberdinez baliatzen baitira.



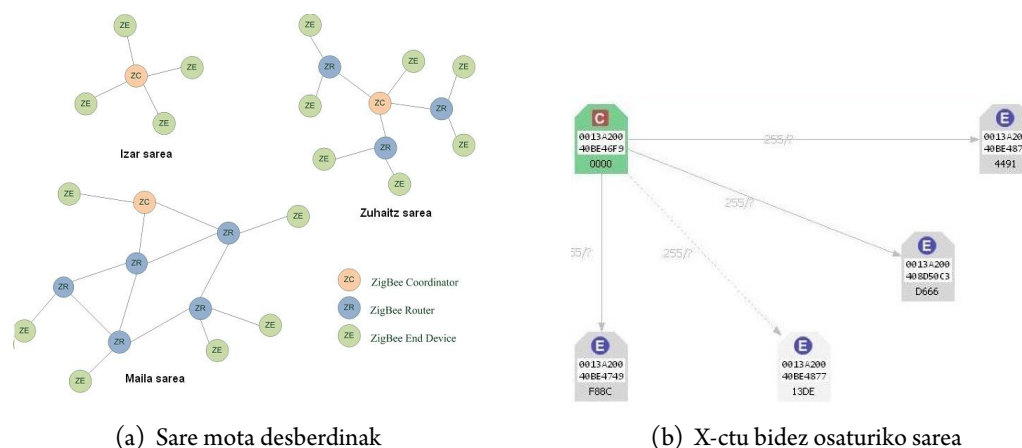
Irudia 2.5.2: Antena desberdinak dituzten XBee-PRO moduluak

Honela, lehenengo seriekoek Freescale chipseta dute oinarritzat eta puntu-puntu edo puntu- multipuntu sareak sortzeko erabiltzen diren bitartean; bigarren seriekoek, Ember chipseta darabilte eta maila moduko sareak behar dituzten aplikazioetan erabili ahal izateko daude diseinaturik[9]. XBee moduluak ekonomikoak eta erabiltzeko errazak dira, besteak beste. Honakoak dira haien zenbait ezaugarri:

XBee moduluak
Irismen ona: 100 metrokoa XBee moduluentzat eta 1.6 kilometrotakoa XBee PRO erabiliz gero.
9 sarrera/irteera analogiko zein digitalak.
Kontsumo baxua <50mA-etakoa lanean ari direnean eta <10uA-etakoa sleep moduan daudenean.
Serial Interfazea.
Eskura dauden 16 kanal bakoitzarentzat 65.000 helbide.
Integra errazak.
Neurriak: 3 x 2.4 x 0.7 cm.
Pisua: 0.003 kg
Prezioa: 28.44€

OINARRIZKO XBEE SAREA

ZigBee sare bat oinarrizko hiru elementuok osatzen dute: koordinatzaileak, routerrak eta end device-ak, hurrenez hurren. Hauei esker sare ugari eratu daitezke, irudian ageri den antzera:



Irudia 2.5.3: Sor daitezkeen sare desberdinak eta x-ctu bidez sorturikoa.

Erabiliko den topologia zein izanen den aukeratuta, moduluen aukeraketa egingen da.

Koordinatzailea: honen funtzio nagusia sarea sortzea da, komunikazio kanal egoki bat aukeratzu eta PAN ID -sare identifikadore- bat esleitzuz. Behin sarea sortu delarik, gainontzeko gailuek bertara konektatzeko aukera izanen dute, eta honek router baten antzera jokatuko du; hau da, informazioa bidali eta jasotzeko gai izanen da.

Router: informazio paketeak sarean zehar bideratzea dute helburu, informazioa jasotzeko eta bidaltzeko gai direlarik.

End Device: gailu hauek ez dira gai paketeak sarean zehar enrutatzeko, ondorioz, guraso baten laguntza beharrezkoa dute hau router-a edo koordinatzailea izanik; hori dela eta, hauen kontsumoa txikiagoa izan ohi da.

LAN MODUAK

XBee gailuek bete behar duten eginkizunaren arabera, bost egoera desberdinetan lan egiteko gai dira. Honakoak dira aipatutako modu nagusiak:

Sleep mode: modu honetan gailua lo dago, ez du informaziorik jasotzen ez eta bidaltzen ere, ho-

nela, gailuaren behar zuzenik ez dagoenean, modu honetan jartzeko ohitura dago haren kontsumoa ahalik eta txikiena izan dadin. Bertara 9. pinaren (Sleep RQ) bidez edo ST (Time Before Sleep) parametroa egokituz sar daiteke. Hiru suspentsio mota daude SM parametroaren bidez konfiguratu daitezkeenak: hibernazioa (SM=1), suspentsioa (SM=2) eta ziklikoa (SM=4,5), hauetako bakoitzean gailuaren kontsumoa desberdina delarik.

Receive mode: egoera honetan, gailua datuak jasotzen ari da.

Transmit mode: kasu honetan, gailua datuak bidaltzen ari da. Transmisioa bi motatakoa izan daiteke: zuzena edo zeharkakoa. Honela, zuzenekoan paketeak berehalakoan dagokion helbidera bidaltzen dira, eta zeharkako transmisioan, informazioaren helburu den gailuak eskaera egin arte ez da bidalketarik egiten.

Command mode: moduluaren konfiguraziorako da erabilia honakoa, izan ere, modu honetan gailuaren ezaugarriak irakurri eta idatz daitezke. Bi command mode desberdin ageri dira: AT modua (Application Transparent), zeinak terminal bat behar duen XBee-aren konfigurazioa egin ahal izateko eta API modua (Application Programming Interface) zeinak kablerik gabe gailua irakurtzea eta konfiguratzeko ahalbidetzen duen. Azkeneko hau erabilgarriagoa da informazio paketeari helbide egokia ezartzea aski baita harekin komunikazioa hasteko, moduluaren parametroak aldatzea beharrezkoa izan gabe.

Idle mode: gailua aipatutako moduetan ez dagoenean, Idle moduan dagoela esaten da[10].

X-CTU: XBEE MODULUEN KONFIGURAZIOA.

XBee moduluak nola jokatzen duten aztertuta, haien konfigurazioari ekin zaio. Horretarako, Digi Internationalen X-CTU software-a erabili da, bai eta moduluen konfigurazioa ahalbidetzen duen USB bat ere[11] H.onakoak izan dira jarraitu diren pausuak:

1. Moduluaren firmware-a kargatu: koordinatzaile, router edo end device izanen den, bai eta AT edo API moduan lan egingen duen aukeratzuz.
2. Sarearen esleipena: PAN ID parametroa ezartzea. Sare berdinean lan egin dezaten, ezinbestekoa da PAN ID berdina izatea.
3. Helbideratzea: DH eta DL parametroak definituz. Parametro hauen bidez, modulua zeinek komunikatuko den adierazten da. Pare bat aukera daude honakoan:

- DH-n komunikazioaren helburu izanen den Serial Number High (SH) eta DL Serial Number Low (SL) jartzea. Hau eginez gero, AT moduan lanean baldin badago ezinen da beste inorekin komunikatu.
- Broadcast helbideratzea: DH=0 eta DL=FFFF ezarriz, gailu guztiak izanen dira gai mezu hori entzuteko.

Irakurri ordenagailura konektatutako modulua.

Idatzi esleitutako ezaugarriak.

Kargatu firmwaare-a.

Esleitu PAN ID.

Moduluaren helbidea.

Komunikatuko den moduluaren helbidea.

Radio Configuration (end device - 0013A200408D50C3)

Firmware information

Product family: XB24-ZB
Function set: ZigBee End Device API
Firmware version: 29A7

Networking

Change networking settings:

ID PAN ID	1234	
SD Scan Channels	3FFF	Bitfield
SD Scan Duration	3	exponent
ZS ZigBee Stack Profile	0	
NJ Rejoin Policy	FF	
JN Join Notification	Disabled [0]	
OP Operating PAN ID	0	
OI Operating 16-bit PAN ID	FFFF	
OH Operating Channel	0	

Addressing

Change addressing settings:

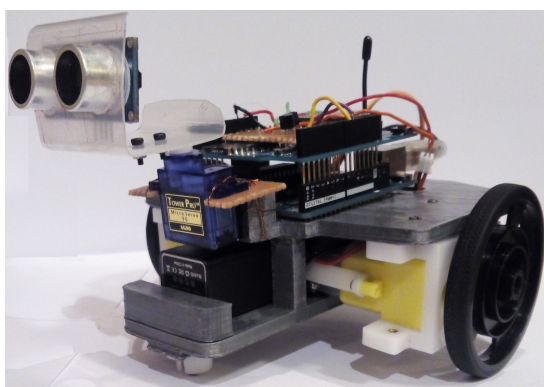
SH Serial Number High	13A200	
SL Serial Number Low	408D50C3	
MY 16-bit Network Address	FFFE	
MP 16-bit Parent Address	FFFE	
DH Destination Address High	0	
DL Destination Address Low	FFFF	
NI Node Identifier	end device	
NH Maximum Hops	30	
BH Broadcast Radius	0	

Irudia 2.5.4: XBee moduluen konfigurazioan eman beharreko hainbat pausu.

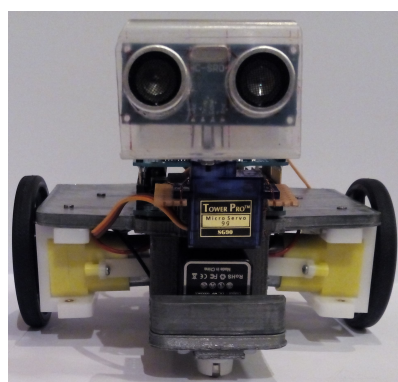
3

Errobotaren funtzioak, materiala eta eraikuntza

ORAIN ARTE AZTERTUTAKO ELEMENTUEKIN errobota eraiki da fisikoki:



(a) Errobota



(b) Aurretiko bista

Irudia 3.0.1: Zirkuituaren eskema eta errobotak hartutako itxura.

Jarraian, proiektuaren helburuak eskuratzeko garatutako hiru aplikazioen berri emanen da: errobot esploratzailea, urrunetik gidatutakoa eta barne lokalizazio sistema, hurrenez hurren.

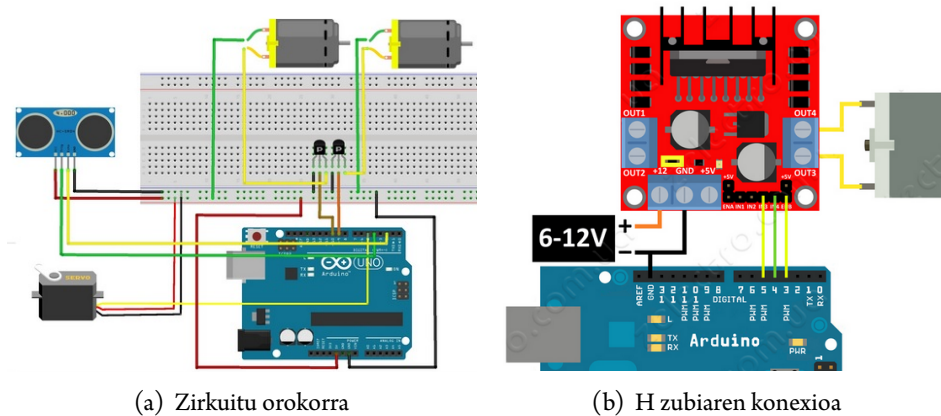
3.1 KONTUZ! OZTOPOAK BIDEAN

Errobot esploratzaileak haien ingurua ezagutu eta aztertzeko helburuarekin diseinatu diren gailuak dira. Hauei esker gizakiaren segurtasuna bermatzen da, bai eta ere gizakia iritsi ez daitekeen gunee-

tan azterketak egin. Honelakoek, irudiak hartzeko gaitasuna agertzen dute, ostean lan gunea analizatzeko helburuarekin. Zenbaitetan haien mugimenduak kontrolatuak izan daitezkeen arren, adimen artifizialaren eskutik agertu dira gaur egun erabakiak hartzeko gai diren errobotak. Errobot hauen erabilpena toki askotan agertzen da: Titanic transatlantikoaren miaketan, espazioan eta abar luze batean.

Geure buruari ezarri zaion erronka, eskala txikiago batean eraikin baten barnean aritzeko moduko errobot esploratzailea eraikitzea izan da. Horretarako, errobotari ausazko mugimenduak edota mugimendu patroï bat jarraitzea behartuko zaio. Era berean, hurbiltasun sentsoreaz baliatuko da oztupoekin talka egin ez dezan.

Kasu honetan, ausazko mugimenduak egitera behartu zaio gailuari beti ere oztupoak saiesten dituelarik. Esan beharra dago, hurbiltasun sentsoreak lan gune mugatu bat duela; hau da, haren aurrean dauden objektuak detektatzeko gai izanen da soilik, haren alboan daudenekin talka eginez. Arazo hau konpontzeko bi soluzio daude: errobotaren alboetan beste sentsore batzuk jartzea eta hauek maneiatzea edota motore baten laguntzaz sentsorearen lan gunea handitzea. Bigarren aukera hori erabiltzea erabaki da, beste elementu bakar batekin lan gunea asko handitu baidaiteke. Irudian sortuko den zirkuitua eta H zubiaren konexia zein izanen litzakeen aurkezten da, nahiz eta proiektu honetan, azken elementu hau erabili ez den.



Irudia 3.1.1: Zirkuitu orokorraren konexioen nondik norakoa eta H zubiaren konexioa.

Honela, plakan kargatutako kodean garrantzizkoa izanen da oso espazioaren azterketaren funtzioa, horri esker, servo-motoreak alde batetik bestera mugiaraziko baitu hurbiltasun sentsorea. Oztoporen bat topatzen duen unean, oztoporik gabeko bidea aukeratuko du bertatik mugitzen jarraitzeko.

Listing 3.1: Aztertu ingurunea servo-motorea mugituz.

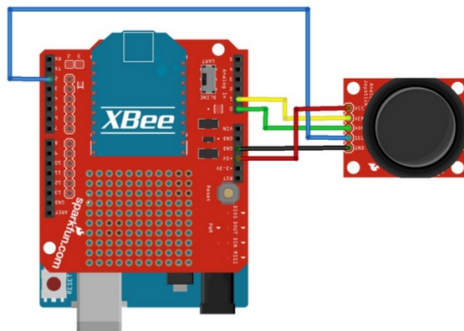
```

1 // Count the obstacles from left and right side
2 for(servoAngle = 0; servoAngle <= 180; servoAngle += 30){
3     headServo.write(servoAngle);
4     delay(turn_delay);
5     // Calculate robot-obstacle distance
6     checkDistance();
7     if(distance < obstacle_distance && servoAngle < 90) obsLeft++;
8     else if(distance < obstacle_distance) obsRight++;}

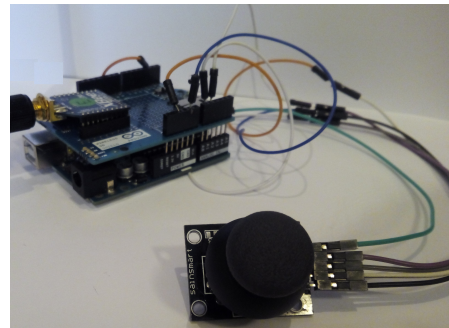
```

3.2 URRUNETIK GIDATUTAKO GURDIA

Aplikazio askotan beharrezkoa izan ohi da erroberta gidatzeko aukera izatea. Hori dela eta, erroberta bere kasa mugitu beharrean, erabiltzaileak bere beharren arabera maneiatzea pentsatu da. Horretarako, aurreko atlean erabiliko den errobertaz ez ezik, beste Arduino plaka batetara konektatutako joystick bat erabiliko da. Joystick-aren aginduak jaso eta bidaltzeko, XBee shield-az bai eta xbee moduluez baliatuko da 3.2.1 irudian ageri den antzera.



(a) Zirkuitua



(b) Itxura

Irudia 3.2.1: Joystick-aren zirkuitu eta itxura.

Errobertari dagokionez, hurbiltasun sentsorea eta servo-motorea kendu zaizkio, erabiltzaileak errobertaren ibilbidea ikusten duela onartzen baita, bai haren begibistan dagoelako edota kamera bat konektatu diolako. Era berean, joystick-ari kasu egin diezaion XBee shield eta moduluz hornitu da erroberta, joystick-aren kasuan bezalaxe.

Programazioari dagokionez, garrantzizkoa da aplikazioa martxan jartzen den orduan, "setup"-ean alegia, joystick-aren geldiuoneko parametroak irakurtzea eta gordetzea. Izan ere, parametro horien sentikortasuna izugarria da eta gerta liteke behin erroberta itzali ostean eta berriro martxan jartzerakoan,

parametro horiek aldatu izana. Bestetik, joystick-aren parametroak behin eta berriro irakurri behar dira haren kokapena zein den jakiteko eta informazioa bidaltzeko. Funtzio horiek hurrengo kode zatian ikus daitezke:

Listing 3.2: Irakurri joystick-aren balioak eta bidali.

```

1 void setup() {
2   // Read joysticks parameters at rest
3   centerX = analogRead(0);
4   centerY = analogRead(1); }
5 void loop() {
6   // Read and send joystick values.
7   int coordX = read_joystick_x();
8   int coordY = read_joystick_y();
9   char actualZone = calculateZone(coordX, coordY, centerX, centerY);
10  Serial.print(actualZone);}

```

Kasu honetan, haren erraztasuna dela eta, AT moduko komunikazioa erabili da joystick-aren informazioa bidaltzeko. Bidalketarako, aski izan da Serial.print(actualZone) agindua exekutatzea.

3.3 BARNE LOKALIZAZIO SISTEMA

Errobota erabiltzaileak nahi duen erara mugitzeko gai izanik, lokalizazioari ekin zaio. Jarraian aipatutako lokalizazio sistema eraikiko da trilaterazioa erabiliz, era berean, eskuratutako emaitzen eta ondorioen berri emanen da. Horretarako ordea, trilaterazioaren funts matematikoa zertan datzan jakin beharra dago bai eta nola hedatzen diren seinaleak eraikinen barnean.

3.3.1 TRILATERAZIOAREN GARAPEN MATEMATIKOA

Atal honetan trilaterazioaren funts matematikoa garatuko da.

3.1 ekuazioan ageri da esfera baten oinarritzko formula orokorra:

$$d^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (3.1)$$

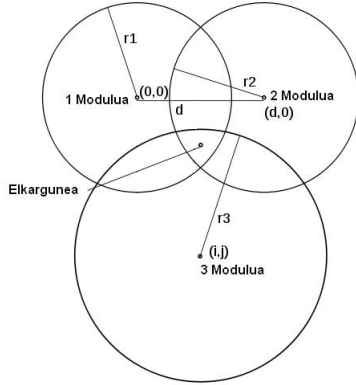
(x_a, y_a, z_a) puntuan kokatutako esferaren ekuazioa ordea ondorengo da:

$$d^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 + (z - z_a)^2 \quad (3.2)$$

Nodo guztiek plano berean igortzen dutela kontsideratzen da, bai eta a, b eta c nodoen eta ezaguna

ez den nodoaren arteko distantzia (d_a, d_b, d_c) direla, hurrenez hurren.

Esfera guztiek plano berean duten formulak ondorengoak dira:



$$d_b^2 = (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 \quad (3.4)$$

$$d_a^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 \quad (3.3)$$

$$d_c^2 = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \quad (3.5)$$

Ekuazio horiek zabalduz:

$$d_a^2 = x^2 - 2xx_a + x_a^2 + y^2 - 2yy_a + y_a^2 \quad (3.6)$$

$$d_b^2 = x^2 - 2xx_b + x_b^2 + y^2 - 2yy_b + y_b^2 \quad (3.7)$$

$$d_c^2 = x^2 - 2xx_c + x_c^2 + y^2 - 2yy_c + y_c^2 \quad (3.8)$$

Irudia 3.3.1: Trilaterazioa.

Ageri da (3.6), (3.7) eta (3.8) ekuazioak bata bestearekiko independenteak direla eta ez direla linealak. Matematikoki ebatzi ezin diren arren, Dixon-ek [12] proposatutako metodoaren bidez (3.8) eta (3.7) ekuazioen kenketa egin da, (3.9) ekuazio lineala eskuratuz:

$$d_b^2 - d_c^2 = 2x(x_c - x_b) + x_b^2 - x_c^2 + 2y(y_c - y_b) + y_b^2 - y_c^2 \quad (3.9)$$

Era berean, (3.6) eta (3.7)-ren kenketaren bidez:

$$d_b^2 - d_a^2 = 2x(x_a - x_b) + x_b^2 - x_a^2 + 2y(y_a - y_b) + y_b^2 - y_a^2 \quad (3.10)$$

(3.9) ekuazioa bai eta (3.10) landuz:

$$x(x_c - x_b) + y(y_c - y_b) = \frac{d_b^2 - d_c^2 - x_b^2 - x_c^2 - y_b^2 - y_c^2}{2} = v_a \quad (3.11)$$

$$x(x_a - x_b) + y(y_a - y_b) = \frac{d_b^2 - d_a^2 - x_b^2 - x_a^2 - y_b^2 - y_a^2}{2} = v_b \quad (3.12)$$

(3.11) eta (3.12) ekuazioetatik 'x' eta 'y'-ren balioak ezagutzea posible da:

$$y = \frac{v_b(x_c - x_b) - v_a(x_a - x_b)}{(y_a - y_b)(x_c - x_b) - (y_c - y_b)(x_a - x_b)} \quad (3.13)$$

$$x = \frac{v_a - y(y_c - y_b)}{(x_c - x_b)} \quad (3.14)$$

'x' eta 'y' balioei esker bi dimentsioko planoan kokaturiko nodo baten posizioa ezagutzea lortzen da.

Hala ere, balio hauek ezin dira seinaleen hedapen eredia ezagutu gabe eskuratu.

3.3.2 SEINALEEN HEDAPEN EREDUA INDOOR

RSSI parametroa erabiltzearen ideia nagusia honakoa da: transmititutako potentziak jasotako potentziarengan eragina du. Frii-ren espazio libreko transmisio ekuazioa jarraituz, jasotako seinalearen potentziaren indarra distantziaren karratuarekiko txikitzen dela ikusten da:

$$P_r(d) = \frac{p_t G_t G_r \lambda^2}{4\pi d^2} \quad (3.15)$$

POTENTZIAREN EREDUA

Sistema gehienek ikusmen-lerrorik ezean (non-line-of sight, NLOS) egiten dute lan. Datu empirikoetan oinarriturik, NLOS propagazioaren eredu orokor bat landu da. Eredu honen arabera d_0 distantziako potentzia ezaguna izanik d_i distantzia jakin batean galdu den potentzia $P_L(d_i)$ honakoa da:

$$P_L(d_i)[dB] = P_L(d_0)[dB] + 10n \log\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \quad (3.16)$$

Non, n parametroa, espazioaren araberakoa den, espazio libreetan $n=2$ dela onartzen da. Hala ere, espazio librearen eredia idealizazio bat besterik ez da seinale baten propagazioa errefrakzio, difrakzio eta dispersioaren menpekota baita. Era berean, efektu hauek inguruaren araberakoak izanen direla onartzen da.

Lan honetan, distantzia eta potentziaren arteko harremana empirikoki topatuko da, ondoren azalduko den bezala.

3.3.3 EMAITZA ESPERIMENTALAK

Jarraian, indoor lokalizazio sistema eraikitzerakoan eskuratutako emaitzen berri emanen da. Lehen-dabizi, RSSI eta distantziaren arteko harremana topatuko da, ostean, trilaterazioa aplikatzeko helburuarekin.

RSSI-DISTANTZIA NEURKETA

Atal honek, potentzia eta distantziaren arteko harremana ezagutzea du helburu. Horretarako, XBee moduluekin ZigBee sarea eta RSSI balioa eskuratzeko programa sortu da ZigBee protokoloak berezko duen AT komando bat erabiliz, DB izenekoa [13]. RSSI balioa ezagutzeko erabili den kodearen

jokaera honakoa izanen litzake: lehendabizi, errobotak DB eskaera bat sortuko du, hau bidali, eta, azkenik, nodoen erantzunaren zain geldituko da.

Listing 3.3: Eskatu RSSI balioa DB komandoa erabiliz.

```

1 byte getRSSI(XBeeAddress64 remoteAddress) {
2     // Create a remote AT request with the DB command
3     RemoteAtCommandRequest remoteAtRequest=RemoteAtCommandRequest(↔
        remoteAddress ,dbCmd);
4     // Create a Remote AT response object
5     RemoteAtCommandResponse remoteAtResponse=RemoteAtCommandResponse();
6     // send the command
7     xbee.send(remoteAtRequest);}

```

Errobotak ordenagailura konektatuta izanen den eta lehenago eraiki den Arduino-joystick sistemari bidaliko dizkio datuak, erabiltzaileak pantailan ikusi ahal izateko. API komunikazio bidea erabili da honakoan, XBee.h programa-liburutegia erabili delarik horretarako.

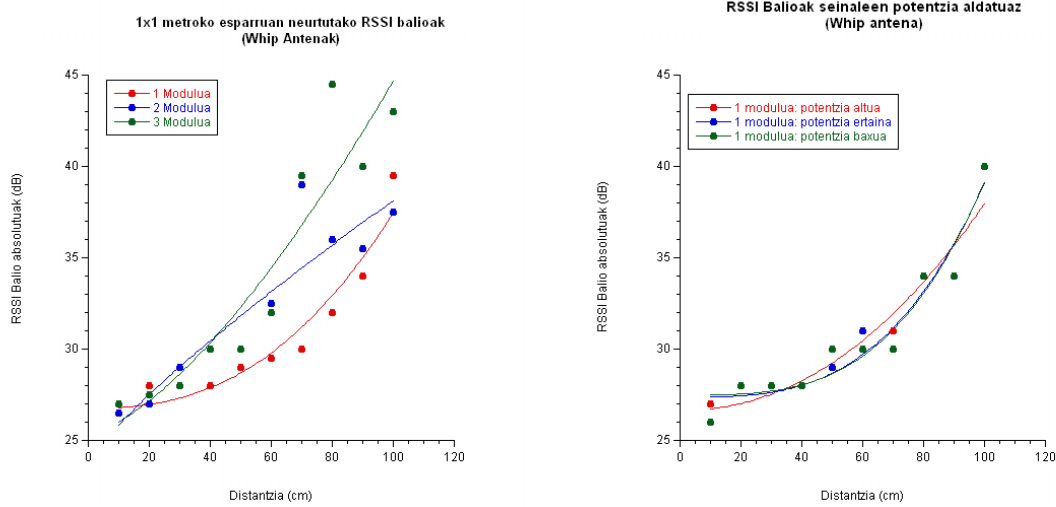
Listing 3.4: Bidali ordenagailura jasotako RSSI balioak.

```

1 void sendRSSI(XBeeAddress64 addr64, uint8_t payload[], byte ↔
        sizepayload){
2     ZBTxRequest zbTx = ZBTxRequest( addr64, payload, sizepayload);
3     ZBTxStatusResponse txStatus = ZBTxStatusResponse();
4     xbee.send(zbTx);
5     // after sending a tx request, we expect a status response
6     // wait up for the status response
7     }

```

Behin RSSI balioa pantaileratzeko gai izanik, trilaterazioan erabiliko diren modulu guztien potentzia-distantzia kurbaren karakterizazioa egin da, bakoitzak inguru desberdin bat ikusten baitu. Horretarako, hainbat saiakeretan, erroberta nodoekiko distantzia ezberdinetara kokatu eta jasotako datuen batezbestekoa gorde da. Nodoen potentzia igorpenaren arabera ere egin dira neurketak, distantziaren aldaketekiko sentikortasun handiena duen potentzia igorpena aukeratzeko helburuarekin.



(a) 1x1 metroko espazioan RSSI eta distantziaren arteko harremana

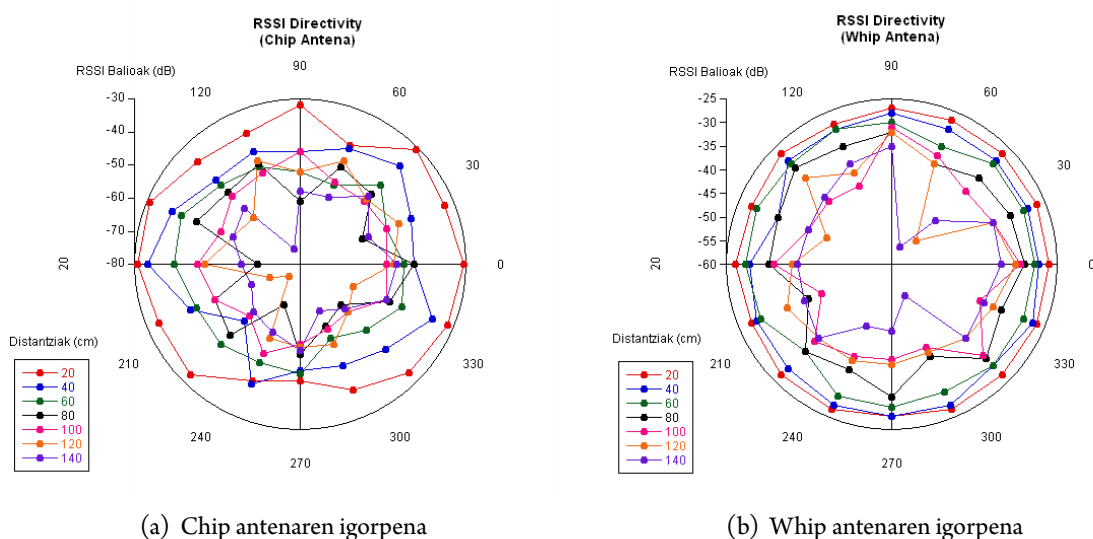
(b) Igorpen potentzien arabera RSSI-distantzia harremana.

Irudia 3.3.2: Egindako neurketen bi eredu.

Egindako neurketak aztertzerakoan, ikusi da emaitzak ez direla oso finak izan; izan ere, zenbaitetan saiakera desberdinetan eskuratutako balioek aldaketa bortitzak jasan dituzte. Honen arrazoiak ugarriak izan daitezkeela argi izanik, horietako bakoitza aztertzeko saioak egin dira. Lehenik eta behin, ingurua ahal bezain beste garbitu da seinaleek jasaten duten islapena saihesteko. Hau nahikoa ez, eta distantzia berean, errobotaren angeluaren arabera balioak aldatzen direla ikusita, hasiera batetik onartutako ezaugarri bati erreparatu zaio: nodoek seinalea modu isotropo ¹ batean igortzeari, hain zuzen ere.

Antenen igorpena aztertzeko helburuarekin hainbat angelu eta distantzian RSSI balioak eskuratu dira. Ikusi da erabilitako antenek ez dutela era guztiz isotropo batean igortzen, efektua gero eta nabariagoa delarik distantzia handituz doan heinean.

¹Norabide guztietan energia modu berean igortzeko ahalmena.



Irudia 3.3.3: Antena desberdinez osaturiko moduluen igorpena.

Orain arte, chip antenak erabiltzen dituzten gailuekin egin da lan, baina aipatutako arazoa dela eta, XBee gailuek erabiltzen dituzten antenen dokumentazioa sakonki aztertu eta ikusi da whip antenek eskaintzen dutela seinaleen igorpen isotropoena [14]. Pentsatzekoa da beraz, orain arte erabilitako chip moduko antenak erabili beharrean whip antenak erabilia aipatutako arazoa hein handi batean behintzat konpondu daitekeela.

Irudian ageri den bezala, whip antenak isotropoagoak dira. Antena hauen erabilpenari esker hainbat saiakeratan neurtutako RSSI balioek ez dituzte horren aldaketa bortitzak jasan. Emaitza hobekak lortu direnez, atzera pauso bat eman eta hardware berri honekin lehenago aipatutako prozedura bera jarraituz RSSI balioak neurtu dira hainbatetan, berriro ere, zenbait froga eginez seinaleen potentziaren arabera.

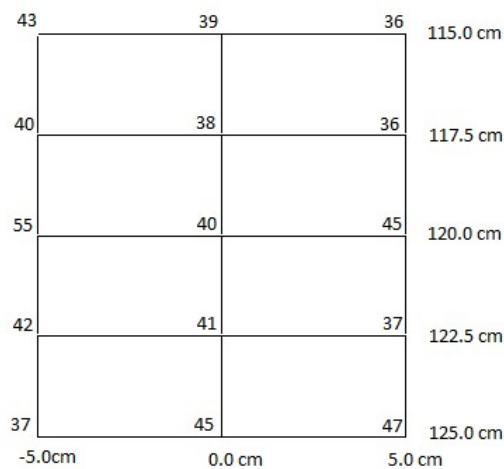
Jasotako emaitzekin, datuen doiketa egin da, RSSI eta distantziaren arteko harremana eskuratuz. Hemen aurrera, datuak prozesatuz, sistema gai izanen da RSSI balioa izanik distantzia ezagutzeko.

TRILATERAZIOA ETA DATUEN PROZESAKETA

Modulu desberdinen kokaera zein hauek errobotarekiko duten distantzia ezagututa trilaterazioa aplikatzea nahikoa da errobotak planoan dituen "x" eta "y" koordinatuak ezagutzeko. Lehenengo saioan 1x1 metroko ingurune batean, errobot hainbat puntutan kokatu da eta hark neurtutako koordinatuak aztertu dira. Orokorrean, posizioen %50a asmatu dira. Hutsegite ugariak planoaren ertzeetan agertzen direla ikusi da; erdialdean berriz, bete betean asmatu du haren posizioa.

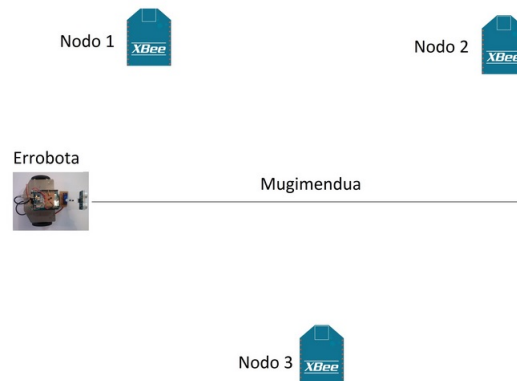
Bestetik, arazo aipagarria izan da errobota distantzia txikian aldatzean neurtutako koordinatuek jasas dituzten aldaketak; izan ere, zentimetro batzuen aldaketen ondorioz potentziaren balioa nabarmen aldatu da (3.3.4 irudian ikusten den bezala), koordinatuetan eragina izanik. Hau, aurreko atalean aipatutako gora beherengatik izan liteke, seinaleen islapena eta antenen ez-isotropotasunaren ondorio, alegia. Hori dela eta, errobota mugimenduan jartzeko orduan, modulu bakoitzaren RSSI balioa behin eskatu beharrean zenbaitetan eskatzea pentsatu da, ostean, horien batezbestekoa datu basean gordetzeko. Era berean, datuen filtraketa bat nahitaezkoa izanen dela ikusi da.

Nodotik 120 cm-ko ingurunean neurtutako RSSI balio absolutuak



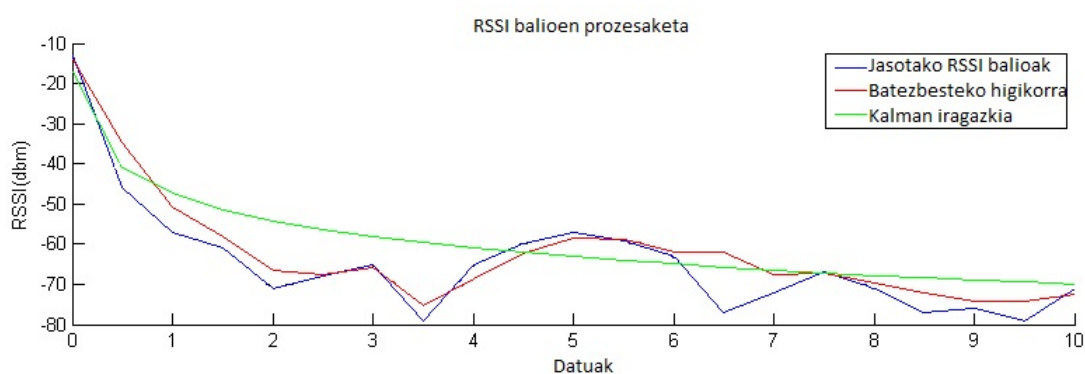
Irudia 3.3.4: Zentimetro batzuen aldaketak RSSI balioengan duen eragina.

Hurrengo saioan errobota joystickaren bidez kontrolatua delarik mugimenduan jarri da. Lehenengo saiakeran, lerro zuzen batean higitzea eginarazi zaio. Berrero ere ikusi da ertzeetan emaitzak ez direla horren egokiak izan; argi dago errore sistematikoa gertatzen dela. Lerro zuzeneko hasierako eta azkeneko puntuak kenduta errore maximoa 10 zentimetrotakoa izan da.



Irudia 3.3.5: Sistemaren eraikuntza.

Datuen prozesaketarako, Ubuntu sistema operatiboa erabiliaz, Python inguruneaz baliatu da [15]. Honela, datuen analisirako, iragazki simple bat eraiki da: batezbesteko higikorra². Datuak fitxategietan gordetzeaz gain, grafikatu egin dira, denbora errealean bai eta datu segida bat jasotakoan ere. Batezbesteko higikorraren bidez, datu segidaren leunketa eskuratu da, emaitza hobekia lortuz. Hau nahikoa ez eta Kalman iragazkia erabiltzea pentsatu da. Honakoak, denboran zehar hartutako neurketa multzo bat erabiltzen du, orokorrean, neurketa multzo horrek zarata (ausazko aldakuntzak) eta beste ez idealtasunak izan ditzazke. Algoritmo baten bidez, ezezagunak diren aldagaien estimazioa egiten du, neurketa bakar batetan oinarritutakoetan baino emaitza hobekoak eskuratuz. Horretarako, PyKalman izeneko programa-liburutegia erabili da.



Irudia 3.3.6: Datuen prozesaketa: batezbesteko higikorra eta Kalman iragazkia erabiliz.

Eskuratutako emaitzak baikorrak izan direla onarturik, lan espazioa handitu da 2.5x3.0 metrora. Lan eremuaren handitze horrekin batera, erroreak gora egingen duela espero da. Honela, orain arte erabilitako prozedura bera errepikatu da, hau da, lehendabizi potentzia-distantzia doiketa eta azkenik trilaterazioa aplikatzea.

Emaitzak errepikatu egin dira; errore sistematikoa agertu da ertzeetan. Era berean, espero zen bezala, erroreak asko handitu dira espazio honetan. Inguruan dauden objektuek sor ditzaketen interferentziak direla eta, berriro ere, ingurua ahal bezain beste garbitu da. Hau ordea, ez da lagungarria izan; espazio honetan seinaleen hedapenak ez-idealtasun ugari ditu eta dimentsio hauetan antenen isotropotasuna ez da nahikoa. Soluzio bat hiru nodo erabili beharrean nodo gehiago erabiltzea izan litzake, trilaterazio prozesuan errotoak hurbilen dituenak aukeratuz. Hala ere, espazioak duen eragina azpimarratzearen, gela huts batean frogak egiteari ekin zaio.

²Denbora serieak aztertzekeo tresna, datuetan egon daitezkeen zorizkotasun edo hondar osagaia ezabatu eta joera azalaraztea du helburu.

4

Ondorioak

OROKORREAN, ESAN DAITEKE, lanaren hasieran ezarritako helburuak bete direla: lortu da errobot funtzional bat eraikitzea.

Errobotaren funtzioei dagokionez, arazorik gabe lortu da oztopoak gainditzen dituen eta urrunetik gidatutako errobot esploratzailea eraikitzea. Beti ere, errobotari beste hainbat sentsore jarriaz, hobekuntza nabarmenak izanen lituzkete eraikitako aplikazioek. Erabiltzailearen beharren arabera, tenperatura, hezetasun edota familia hortako sentsoreak gehitu litezke, benetako errobot esploratzaile bat sortuz. Bestetik, kamera bat erabiltzaz, urrunetik gidatutako erroberta ez litzake erabiltzailearen ikusmen lerroan egon beharko.

Arazo nabarmenagoak topatu dira ordea, indoor lokalizazio sisteman. Honakoak izan dira lokalizazio sisteman topatu diren arazo nagusienak: espazioan seinaleek duten hedapen ez-ideala, antenen igorpen ez-isotropoa eta trilaterazioan eskuratutako emaitza okerra hiru nodoen distantziek bat egingen ez dutelako. Aipaturiko lehenengo bi arazoiek, RSSI balioek aldakortasun handia izatea dakarte, hirugarrenak berriz, trilaterazioaren azterketa sakonago bat eskatzen du. Bestetik, esan beharra dago, zenbaitetan, ezagunak ez diren arazoak direla eta, jasotako RSSI balioak zentzurik gabekoak zirela, ordu batzuen ostean ordea, zentzuzko balioak eskuratzen ziren. Emaitzak hobetzeko, antena kopuru gehiago erabiltzea izanen litzake soluzio bat. Hori ez litzake ordea bakarra izanen; hatz-markak hartzea ere konponbide egokia izan liteke. Haren bidez, RSSI balioen planoan datu base batean gordeko

litzake eta trilaterazioak akats nabarmena egiterakoan bertan kontsultatzeko aukera egonen liteke. Behin barne lokalizazio sistema hobetuta, eraiki diren beste funtzioak erabiliaz, aplikazio gehiago garatzeko aukera izanen litzake, hala nola, gela baten planoan eraikitzea objektuak non dauden adieraziz, edota, errobotari bide motzena aukeratuz koordinatu batzuetara joatea eginaraztea.

Komunikazioari dagokionez, XBee moduluen jokaera zein den ezagutu eta ulertzeko, azterketa luzea egin da. Komunikazio hori ahalbidetzen duten programen eraiketan arazo ugari topatu diren arren, horiek gainditzea lortu da azkenean.

Bukatzeko, errobot baten atal nagusiak zein diren ikasteaz gainera, sistema operatibo desberdinekin lan egiten ikasi da, bai eta programazio lengoia desberdinak maneiatzen ere. Errobotaren atalak ezagutzeko azterketa bibliografiko sakona egin da. Ubuntu sistema operatiboan, bai eta ere C++ eta Python lengoietan trebetasuna hartzeko berriz, azterketa bibliografikoaz ez ezik, aipatutakoak baino programa eta aplikazio gehiago eraiki dira hainbat sensore eta eragingailurekin. Horien artean, LM 35 tenperatura sensorea eta LCD pantaila erabili dira.

Bibliografía

- [1] Víctor R. González Fdez, Antonio López Cruzado, José A. Cabero Esteban, “Control y robótica,” 2014. http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.5.htm.
- [2] Gutierrez, Deseada, “Indoor location systems based on zigbee networks,” 2012. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43966/Gutierrez_Deseada.pdf.
- [3] Alasdair Allan, “Arduino Uno vs BeagleBone vs Raspberry Pi,” 2013. <http://makezine.com/2013/04/15/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry-pi/>.
- [4] “Processing,” 2015. <https://processing.org/>.
- [5] Arduino, “Arduino,” 2015. <http://www.arduino.cc/>.
- [6] A. Tamayo, “Comunicación serial,” 2009. <https://galaxi0.wordpress.com/el-puerto-serial/>.
- [7] blogElectronica , “Redes zigbee (i). introducción,” 2007. <http://www.blogelectronica.com/redes-zigbee-i-introduccion/>.
- [8] A. C. Karunakar Pothuganti, “A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi,” *Advance in Electronic and Electric Engineering*, vol. 4, no. 6, pp. 655–662, 2014.
- [9] Sabas, “¿Que es Xbee?,” 2011. <http://tecnologicobj12.blogspot.com.es/2011/09/que-es-xbee.html>.
- [10] Andrés Duarte Marin, “Arduino y XBee,” 2014. <http://www.andresduarte.com/arduino-y-xbee>.
- [11] Digi International, “Xctu,” 20015. <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/xctu#overview>.
- [12] Dixon, John C , *Suspension Analysis and computational geometry*. UK: Wiley; 1 edition, 2009.
- [13] Digi International, *XBee Command Reference Tables*. 2010.
- [14] Digi International, *XBee & XBee-PRO OEM RF Module Antenna Considerations*. 2012.
- [15] Python, “Python,” 2015. <https://www.python.org/>.

- [16] Fritzing, “Fritzing,” 2015. <http://fritzing.org/home/>.
- [17] Michael Margolis, *Arduino Cookbook*. UK: O’Reilly Media, INC., 2011.
- [18] Anibal Ollero, *Robótica, manipuladores y robots móviles*. ES: Marcombo, 2001.
- [19] Jack Purdum, *Beginning C for Arduino*. New York, NY: Apress; 1 edition, 2012.
- [20] H.R. Everett, *Sensors for Mobile Robots*. Wellesley, MA: AK Peters, 1995.
- [21] Kristof Goris, “Autonomous Mobile Robot Mechanical Design,” 2004-2005. http://mech.vub.ac.be/multibody/final_works/ThesisKristofGoris.pdf.

A

A Eranskina: Ezaugarriak

Izena	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone
Mota	R3	Model B	Rev A5
Prezioa	\$29.95	\$35	\$89
Neurriak	2.95"x2.10"	3.37"x2.125"	3.4"x2.1"
Prozesadorea	ATMega 328	ARM11	ARM Cortex-A8
Erlojua	16MHz	700MHz	700MHz
RAM	2KB	256MB	256MB
FLASH	32KB	(SD Card)	4GB(microSD)
EEPROM	1KB		
Sarrerako voltaia	7-12v	5v	5v
Min Power	42mA (.3W)	700mA (3.5W)	170mA (.85W)
Digital GPIO	14	8	66
Sarrera analogikoa	6 10-bit	N/A	7 12-bit
PWM	6		8
TWI/I2C	2	1	2
SPI	1	1	1
UART	1	1	5
Dev IDE	Arduino Tool	IDLE, Scratch, Squeak/Linux	Python, Scratch, Squeak, Cloud9/Linux
Ethernet	N/A	10/100	10/100
USB Master	N/A	2 USB 2.0	1 USB 2.0
Video irteera	N/A	HDMI, Composite	N/A
Audio irteera	N/A	HDMI, Analog	Analog

(a) Hardware-en arteko konparaketa

Estandarra	Bluetooth	UWB	Zigbee	Wi-Fi
IEEE	802.15.1	802.15.3a	802.15.4	802.11a/b/g
Frekuentzia banda	2.4GHz	3.1-10.6 GHz	868/915 MHz; 2.4 GHz	2.4 GHz; 5 GHz
Bit tasa	1 Mb/s	110Mb/s	250kb/s	54Mb/s
Distantzia nominala:	10 m	10 m	10-100 m	100 m
TX potentzia nominala	0 - 10 dBm	-41.3 dBm/MHz	(-25) - 0 dBm	15 - 20 dBm
RF kanal kopurua	79	(1-15)	1/10;16	14(2.4GHz)
Kanalaren zabalera	1MHZ	500MHZ-7.5GHz	0.3/0.6 MHz; 2 MHz	22MHz
Modulazioa	GFSK	BPSK, QPSK	BPSK (+ ASK), O-QPSK	BPSK, QPSK, COFDM, CCK, M-QAM
Oinarrizko sarea	Piconet	Piconet	Star	BSS
Sare konplexuak	Scatternet	Peer-peer	Cluster tree-mesh	ESS
Gehieneko nodo kopurua	8	8	> 65000	2007
Datuen babesa	16-bit CRC	32-bit CRC	16-bit CRC	32-bit CRC

(b) Komunikazio sistemen arteko konparaketa