

eman ta zabal zazu



Bilboko Ingeniaritza Eskola

Industria Elektronikaren eta Automatikaren Ingeniaritzako
Gradua

Gradu Amaierako Lana

2015 / 2016



(IBILGAILU AUTONOMO ERROBOTIZATUAREN KONTROLA)

2.DOKUMENTUA: MEMORIA TEKNIKOA

IKASLEAREN DATUAK

IZENA: ENEKO

ABIZENAK: PUMAREJO FRADUA

SIN.:

DATA:

ZUZENDARIAREN DATUAK

IZENA: KOLDO

ABIZENAK: BASTERRETXE A OYARZABAL

SAILA: TEKNOLOGIA ELEKTRONIKOA

SIN.:

DATA:

MODUA:

- JATORRIZKOA
 KOPIA

AURKIBIDEA

1	Sarrera	- 1 -
1.1	Lanaren Xedea.....	- 1 -
1.2	Hasierako Datuak	- 2 -
1.3	Deskribapen Orokorra	- 3 -
1.4	Metodologia eta denbora plangintza	- 5 -
2	Kontrolaren Garapena	- 7 -
2.1	Abiadura kontrola.....	- 8 -
2.1.1	PID Jarraitua	- 9 -
2.1.2	PID diskretua ($S \sim Z$).....	- 12 -
2.1.3	Parametroen doiketa	- 14 -
2.1.4	Laginketa periodoa (T_s)	- 14 -
2.1.5	Abiadura kontrolaren inplementazio	- 15 -
2.2	Ultra soinu sentsoare eta serbomotorearen kontrola	- 17 -
2.2.1	Ultra soinu sentsoarearen kontrola	- 17 -
2.2.2	Ultra soinu sentsoarearen inplementazioa	- 18 -
2.2.3	Serbomotorearen Inplementazioa	- 21 -
2.3	Nabigazio Kontrola	- 22 -
2.3.1	I2C serie komunikazioa	- 22 -
2.3.2	Konpas digitala	- 23 -
2.3.3	Nabigazio estrategia.....	- 24 -
3	Emaitzak eta kalkuluak	- 29 -
3.1	Abiadura.....	- 29 -
3.2	Ultra soinu sentsoarea	- 30 -
3.3	Konpas digitala.....	- 31 -

3.4	Kontrol begiztaren egikaritzea	- 32 -
3.5	Kodeatzailearen bereizmena	- 33 -
3.6	Memoria erabilera	- 33 -
3.7	Maketa.....	- 34 -
4	Ondorioak eta etorkizunerako lana.....	- 35 -
5	Tresnak	- 36 -
5.1	Kontrolagailua.....	- 36 -
5.2	H-zubia.....	- 37 -
5.3	Ultrasoinu sentsorea	- 37 -
5.4	Serbomotorea	- 38 -
5.5	Konpas digitala.....	- 39 -
6	Bibliografia.....	- 40 -

IRUDIEN AURKIBIDEA

1.	irudia: koordenatu polarra eta nabigazioa	- 3 -
2.	irudia: sistemaren osagai nagusiak eta beraien arteko informazio-fluxua.....	- 4 -
3.	irudia: metodologia eta denbora plangintza.....	- 5 -
4.	irudia: pic24f mikrokontrolagailua, Koldo Basterretxea.....	- 7 -
5.	irudia: berrelikatutako kontrol sistema	- 9 -
6.	irudia: PID paraleloaren bloke diagrama, Wikipedia	- 11 -
7.	irudia: adar integratzailearen bihurketaren errepresentazioa.....	- 13 -
8.	irudia: Ultra soinu sentsorearen lan test-a	- 17 -

9. irudia: HC-SR04 sentsorearen lan denboren diagrama	- 18 -
10. irudia: serbomotorea	- 20 -
11. Irudia: Higidura zuzenaBiraketa.....	- 24 -
12. irudia: Biraketa	- 25 -
13. irudia: 45° eta 90° tako sahiesbidea	- 26 -
14. irudia: isoszelez triangelua	- 26 -
15. irudia: triangelu zuzena	- 27 -
16. irudia: Kodetzailearen bitartez neurturiko maiztasunak	- 29 -
17. irudia: Ultra soinu entseguaren emaitzak	- 30 -
18. irudia: Oihartzun faltsua	- 30 -
19. irudia: Kompasaren frogaketa.....	- 31 -
20. irudia: Kompasa egonkortuta.....	- 31 -
21. irudia: begiztaren egikaritzea.....	- 32 -
22.irudia: memoria erabilera.....	- 33 -
23.irudia: maketa aurrealdetik	- 34 -
24. irudia: maketaren behealdea	- 34 -
25.irudia: mikro kontrolagailuaDC motorra.....	- 36 -
26. irudia: DC motorra	- 37 -
27. irudia: H-zuibia.....	- 37 -
28.irudia: Ultra soinu sentsorea	- 38 -
29. irudia: Serbomotorea	- 38 -
30. irudia: Kompas digitala.....	- 39 -
31. irudia: 9V-eko pila.....	- 39 -
32. irudia: 1.5V-eko pliaz osaturiko 6V-eko kutxa	- 39 -
.....	

1 Sarrera

Txosten hau, Euskal Herriko Unibertsitateko Bilboko Industria Ingeniaritza Unibertsitate eskolan, Industria Elektronikaren eta Automatikaren Ingeniaritzako Gradua titulazioaren azken urratsa den, Eneko Pumarejo Fraduak garatutako karrera amaierako Proiektuaren memoria da.

Proiektuak, plataforma bati auto-nabigazio ahalmena emateko beharrezkoa den software txertatuaren garapena du helburu, Koldo Basterretxea Oyarzabal irakaslearen gainbegirapean.

1.1 Lanaren Xedea

Lan honen bidez graduan zehar eskuratutako konpetentzia espezifiko eta zeharkakoak praktikan jarri nahi dira. Horretarako kontrol-sistema txertatuen inguruko lana gauzatu da, Microchip etxeko 16 biteko PIC24F familiako mikrokontrolagailua izan da lana garatzeko oinarria, horrelako gailuak dagoeneko graduko Sistema Elektronikoko Digitalak ikasgaiak erabili izan direlako batez ere. Hardware osagaien aukeraketa eta muntaia egitea beharrezkoa izan bada ere, proiektuaren muina kontrol eta komunikazioetarako software txertatuaren garapena izan da batez ere.

Abiapuntutzat dagoeneko aurretiko proiektu batean erabilitako plataforma bat izan dugu: euskarri mekaniko sinple batean bi DC motorrez, 16 biteko PIC24F mikrokontrolagailua duen Explorer 16 garapen txartelaz eta hari konektatutako serbomotore bati atxikitako ultrasoinu-sentsore batez osatua. Honi konpas digital bat gaineratu zaio, sistemaren nabigazio-kontrolerako ahalmena handitzeko eta goi-mailako kontrol-estrategia konplexuagoak programatzea ahalbidetu duelako.

Proiektu honen helburu nagusia, plataforma honi nabigazio autonomo eraginkorrez hornitzeko beharrezkoa den software txertatua garatzea da. Helburu hori lortzeko, ondorengo zereginak burutu dira:

- DC motorren denbora errealeko (RT) PI kontrola gauzatuko sistema (behe-mailako kontrolerako bi begizta).
- Ultrasoinu sentsorea orientatzeko serbomotorearen kontrola.
- Sentsoreek (ultrasoinuak eta konpas digitala) jasotako informazioaren komunikazioa eta prozesaketa.
- Goi-mailako nabigazio autonomorako kontrol-estrategiaren gauzatzea eta sistema osoaren koordinazioa.
- Sistemaren muntaia eta egiaztatpena.

1.2 Hasierako Datuak

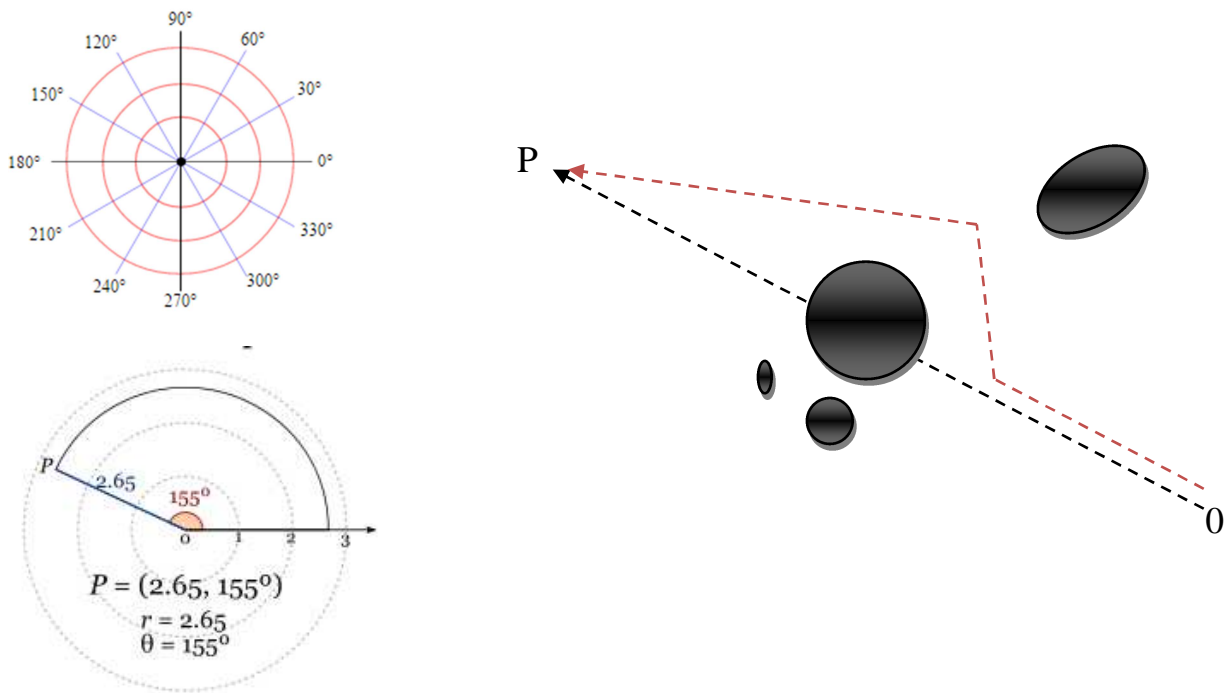
Sistema elektronikoen digitalen irakasgaiaren kontrol-txertatuen inguruan eta PIC24f familiako mikrokontrolagailuekin DC motorren abiadura kontrola egiteko PI kontrolagailuekin lan eginda lortutako ezagutzak direla eta arlo honen inguruan jadanik eginda dagoen proiektu batetik abiatu eta honen garapena egitea erabaki zen.

Abiapuntutzat hartutako proiektuak PI abiadura kontrol bat garatzen du, PI -ak emandako erantzunarekin PWM seinale bat sortu eta honen bitartez motorrak elikatzen dira. Ondorioz plataforma abiadura konstante batekin mugitzen da eta ultrasoinu sentsore baten laguntzarekin bere aurrean oztoporik dagoen ikusten du hau saihestu ahal izateko. Plataformak oztopoak detektatu eta hauek ekiditen ditu oztopoa alde batera utziz azken honekin talka ez egiteko baina ez du nabigazio estrategiarik jarraitzen.

Proiektu hau aurretik eginikoaren garapena izatea nahi izan da. Industria Elektronikaren eta Automatikaren Ingeniaritzako Graduan eskuratutako konpetentzien bitartez aurreko proiektuaren garapena egiteko plataformari software txertatuaren bidez mugitzeko eta oztopoak saihesteaz gain nabigazio ahalmena emango zaio.

1.3 Deskribapen Orokorra

Lan honen bitartez plataformari nabigazio ahalmena eman zaio. O irteera puntu batetik abiatu eta higitzen hari den noranzkoa (konpas digitala) eta desplazamendua (kodetzailea) ezagututa P helmuga puntura iritziz, bidean aurkitzen dituen oztopoak saihestuz.



1. irudia: koordenatu polarra eta nabigazioa

1.irudian ikusten den bezala, P puntua erabiltzaileak koordenatu polarren (r_θ) bitartez programaturiko edozein balio izanda. Kontrol txertatua eta garaturiko software txertatuaren bidez plataformari bidean aurkitzen dituen oztopoak saihestu eta helmuga puntura irizteko gaitasunaz hornitu da.

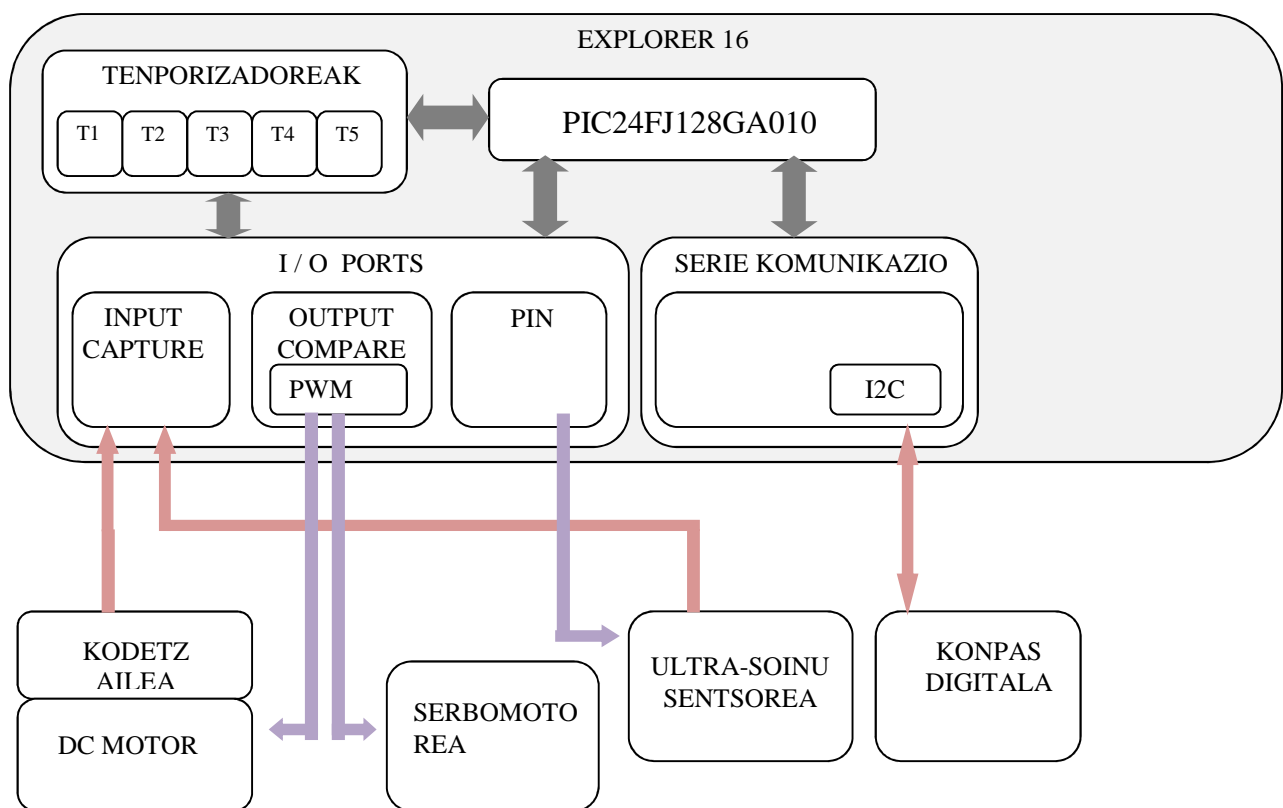
Software txertatua, PIC24FJ128GA010 16 biteko mikrokontrolagailua duen Explorer 16 garapen txartelean garatu da. Programen simulazio, arazketa eta datuen azterketa egiteko MPLAB IDE 8.88v programa eta C30 konpiladore erabili dira.

Garatutako software txertatua;

- Plataforma higitzeko denbora errealeko PI kontrolagailua, aldi berean abiadura eta desplazamendua neurtuko dira

- Ultrasoinu sentsore eta serbomotorearen bidez oztopoa detektatu eta hau nondik saihestu behar den ezagutzeko kontrola
- Mikrokontrolagailu eta konpas digitalaren arteko I2C serie komunikazio
- Nabigazio kontrola

Periferiko ezberdinen inplementazioek ezarritako helburuak eta azterketa teorikoan adierazitako betetzen dituztela baieztatu ostean, praktikan ere kontrola zuzena dela frogatzeko, eskala errealeko maketa gauzatu da.



2. irudia: sistemaren osagai nagusiak eta beraien arteko informazio-fluxua

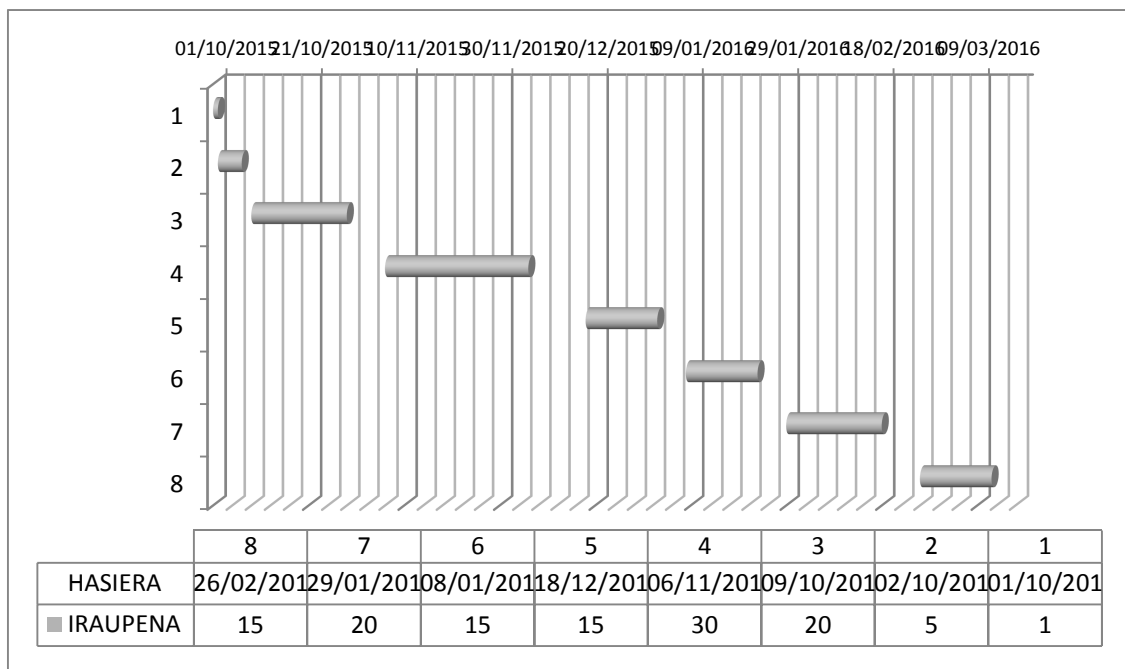
2. irudian ikusten den bezala sistema bost osagai nagusitan banatzen da:

- **Explorer 16:** Sistemaren garuna, 8MHz-eko maiztasuna duen erloju seinalean oinarrituta, beste periferiko guztien kontrola osatzeko seinale guztien sortzaile eta kudeatzailea.
- **Kodetzaille + DC motorra:** Motorraren biraketa datuen eskuraketa (birako 3 pultsu).
- **Ultrasoinu sentsorea:** Ikusmena, 30°-tako detekzio angelua.

- **Serbomotorea:** 180ºtako biraketa ahalmena.(detekzio ahalmenaren handitzea).
- **Konpas digitala:** Orientazioa.

1.4 Metodologia eta denbora plangintza

- 1) Proiektuaren definizioa.
- 2) Osagaien aukeraketa, haien arteko bateragarritasuna eta ezaugarri teknikoak aztertzea.
- 3) Softwarearen arkitekturaren definizioa: algoritmo nagusia (goi-mailakoa) eta azpi-funtzioak definitu eta deskribatu maila algoritmokoan.
- 4) Funtzio bakoitzaren programazioa (C lengoaia): komunikazioak, motorren kontrola, nabigazio-estrategia eta abar.
- 5) Softwarearen araztea 1: funtzio bakoitzaren programazioa simulazioa mailan araztu.
- 6) Softwarearen araztea 2: funtzio bakoitzaren programazioa hardware-mailan araztu (mikrokontrolagailua erabilia).
- 7) Sistemaren integrazioa eta egiaztapena.
- 8) Sistemaren ezaugarritzea: erantzun-denborak neurtu, kontrol begizten zehaztasuna neurtu, mikrokontrolagailuko baliabideen erabilera aztertu (memoria etabar).



3. irudia: metodologia eta denbora plangintza

Sistema osoa Explorer 16 garapen txartelean inplementatu haurretik, PC baten laguntzaz MPLAB IDE ingurunean eta MPLAB C30 konpilagailuaren bitartez software txertatua programatu da, azterketa arindu eta errazteko.

MPLAB SIM simulagailua erabili da programatutako bloke bakoitza eskuratu nahi diren datu teorikoekin alderatzeko.

Azterketa teorikoan adierazitako mugak betetzen dituztela baieztatu ostean hardwarearen inplementazioa egin da Explorer 16 garapen txartela eta ICD3 programagailuaren laguntzaz.

ICD3 arazlea eta laborategiko instrumentazioa (seinale sortzailea eta osziloskopioa) erabilia, sistemaren erantzun erreala eta teorikoaren arteko analisia egin da.

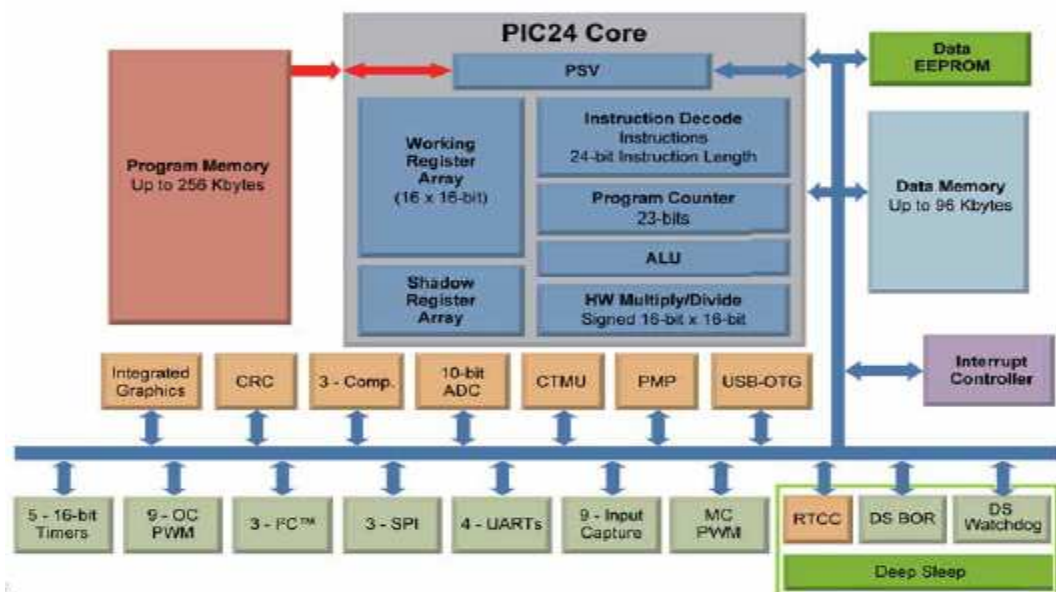
Azkenik eskala errealeko maketa gauzatu da

2 Kontrolaren Garapena

Kontrol sistemak, teoria zibernetikoaren arabera, funtsean organismo biziei eta makinei aplikatzen zaizkie. Sistema hauek lehenengo aldiz 1948. urtean erlazionatu ziren *Norbert Wiener*-ek idatziriko *Zibernetika eta Gizartea* liburuan. Bertan kontrol sistema bat, alde aurretik finkatutako lan bat era egokienean eta akatsik murriztenekin osatzeko osagaien multzo bezala definitzen da.

Sistema digitalen agerrerarekin eta hauei lotutako teknologiaren garapenarekin, kontrol moderno deritzoten metodoak agertu dira, esaterako auto doiketa ahalbidetzen dutenak. Gaur egun kontrol sistema gehienak teknologia digitalean eskaintzen dira. Honek komunikaziorako moduluak integratzea ahalbidetzen du sistema konplexuagoak eraikitzeke aukera emanez.

Proiektu hau PIC24FJ128GA010 16 biteko mikrokontrolagailua duen Explorer 16 garapen txartelean garatu da, batez ere graduko Sistema Elektronikoko Digitalak ikasgaiaren erabili izanagatik eta laborategian eskura izateagatik. Baita Helburua software txertatuaren garapena izanik, hau burutzeko beharrezkoak diren modulu eta periferiko programagarriak biltzen dituelako.



4. irudia: pic24f mikrokontrolagailua, Koldo Basterretxea

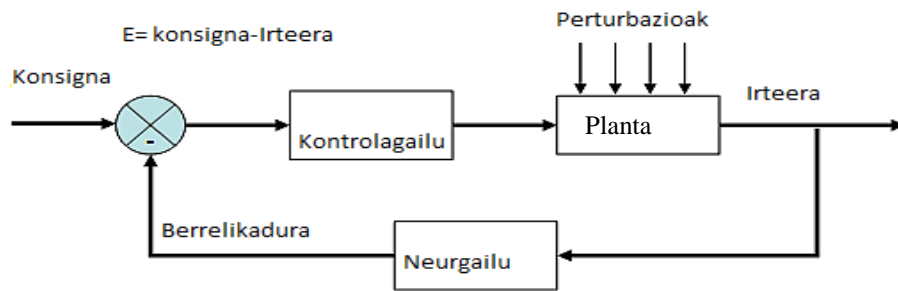
4.irudian pic24f familiako mikrokontrolagailuak eskaintzen dituen moduluak ikusi ditzakegu. Ondoren erabili direnak zerrendatuko dira:

- **OC (PWM)** : 3 PWM seinale erabili dira. Horietako bi motorrek elikatzeko eta hirugarrena serbomotorea kontrolatzeko
- **IC(input capture)**: 3 sarrera harrapaketa erabili dira. Bi kodetzaileen pultsuak jasotzeko eta hirugarrena ultra soinu sentsorearen erreferentziak jasotzeko.
- **I2C**: serie komunikazioa modulua konpas digitalarekin komunikatzeko
- **Timers**: 4 tenporizadore bitartez azpisistema guztiak kontrolatu dira .PWM seinaleen maiztasuna, harrapaketen arteko denbora bai kodetzaileena baita ultrasoinu sentsorearena ere eta laginketa maiztasuna.

2.1 Abiadura kontrola

Kontrol-sistema baten helburua, sistema ezagun batek nahi den erantzuna akatsik gabe ematea da.

Abiadura kontrola gauzatzeko begizta itxiko kontrol-sistema erabili da, honetan irteera ezartzeko erreferentzia ez ezik sistemaren irteera eta berrelikadura seinalea, ere kontuan hartzen direlarik. Berrelikadura ezinbestekoa da plantaren irteera nahi den erantzunetik gertu mantentzeko sistemaren dinamikan sortu daitekeen edozein aldaketaren aurrean.



5. irudia: berrelikatutako kontrol sistema

Kontrola garatzerako orduan plantaren eredua gauzatzeko, Korrante zuzeneko motor baten transferentzia funtzio arrunta erabili da. Garatu nahi izan dena abiadura kontrola bakarrik denez (ez da nahi posizio kontrola), *Laplace*-ren *S* domeinuan adierazitako lehenengo mailako transferentzia funtzioa (1.1) hain zuzen ere.

$$\frac{k}{\tau s + 1} \quad (2.1)$$

Kontrolagailuari dagokionez Proporzional-Integratzaile-Deribatzaile (PID) aukeratu da. Kontrol munduan erabilera oso zabaldua duen berrelikadura bidezko kontrol bat da. Hau sistemaren irteerako eta nahi den sarrera edo konsignaren arteko errorearen kalkuluan oinarritzen da. Aurreko mendeko hasieratik kontrolagailu honen erabilera oso nabarmena izan da kontrol automatikoaren arloan. Industrian estandar bihurtu dela esan genezake.

2.1.1 PID Jarraitua

PID algoritmoak hiru kontrol funtzioen batura bezala azaltzen da. Hauek proporzionala, integrala eta deribatzailea direlarik.

Proporzionala

Kontrolagailuaren sarrera den erreferentzia (*r*) eta plantaren irteeraren (*y*) arteko errore seinalea (*e*) handitu egiten du irteeran (*u*).

$$u(t) = k_p e(t) \qquad \frac{U(s)}{E(s)} = K_d$$

Irabazpen proportzionala gero eta handiagoa izan, sistemaren erantzuna azkarragoa izango da errearen aurrean baina balore oso altuak oszilazioak edo ezegonkortasuna sor ditzake.

Integratzailea

Errore-seinalea integratu eta konstante batez biderkatzen du. Plano konplexuaren jatorrian poloa izateak, egoera egonkorreko errorea zerora bultzatzen du erreferentzia-seinalean maila aldaketa ematen denean. Hori dela eta, *automatic reset* ere esaten zaio funtzio honi.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \qquad \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

Deribatzailea

Errore-seinalea deribatzen du eta konstante batez biderkatu. Proportzionalak momentuko sarreraren balioaren arabera balioa ematen du, integratzaileak aurreko balioen arabera eta deribatzaileak etorriko diren balioak hartzen ditu aintzat. Horregatik *anticipatory control* bezala ere ezaguna da.

$$u(t) = K_d \frac{d e(t)}{dt} \qquad \frac{U(s)}{E(s)} = K_d s$$

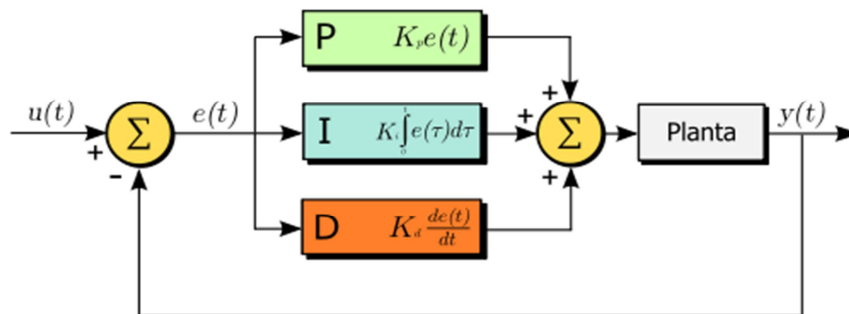
Hiru funtzioak adierazpen bakarrean batzean PID kontrolagailuaren ekuazioa lortzen da:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{d e(t)}{dt} \qquad (2.2)$$

Bere transferentzi funtzioa:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \qquad (2.3)$$

Proiektu honetan kontrolagailu bezala, egitura paraleloa duen PID –a aukeratu da .Egitura paraleloan funtzio bakoitza isolaturiko adar batetan gauzatzen da.Ondoren nahi izanez gero adarretako edozeini dagokion konstanteari zero esleituz, beharren arabera eta parametroak soilik aldatuta P, PI, PD eta PID kontroladoreak erabiltzea ahalbidetzen duelako.



6. irudia: PID paraleloaren bloke diagrama, Wikipedia

Paraleloa eta idealaren parametroen arteko bihurketa hurrengo formulen bitartez egin daiteke:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad K_d = K_p T_d$$

Egitura paralelodun PID-aren transferentzi funtzioa:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \quad (2.4)$$

2.1.2 PID diskretua (S ~ Z)

Sistema jarraitua denbora infinitesimalean zehar balioaren aldaketa antzematen duen sistema da. Sistema digitaletan, berriz oszilazio iturriak mugatutako erloju seinaleetan ematen diren aldaketak bakarrik antzematen dira, aldaketak antzemateko gaitasuna mugatuta du. Ezberdintasun hau dela eta sistema diskretizatu beharra dago. Z transformatuak diferentzia linealetan ekuazioak eta datu diskretu edo digitalak dituzten sistema linealak ebazteko operatzeko metodoa osatzen du.

Kontroladorea diskretizatzeko *forward Euler* metodoa erabili da. (1.4) PID paraleloaren ekuazioa oinarritzat hartu eta adar bakoitza banaturik aztertu da.

$$U(s) = U_p(s) + U_i(s) + U_d(s)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_p(s)}{E(s)} = K_p &\Rightarrow U_p(s) = K_p E(s) \\ \frac{U_i(s)}{E(s)} = K_i \frac{1}{s} &\Rightarrow U_i(s) = \frac{K_i}{s} E(s) \\ \frac{U_d(s)}{E(s)} = K_d s &\Rightarrow U_d(s) = K_d s E(s) \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

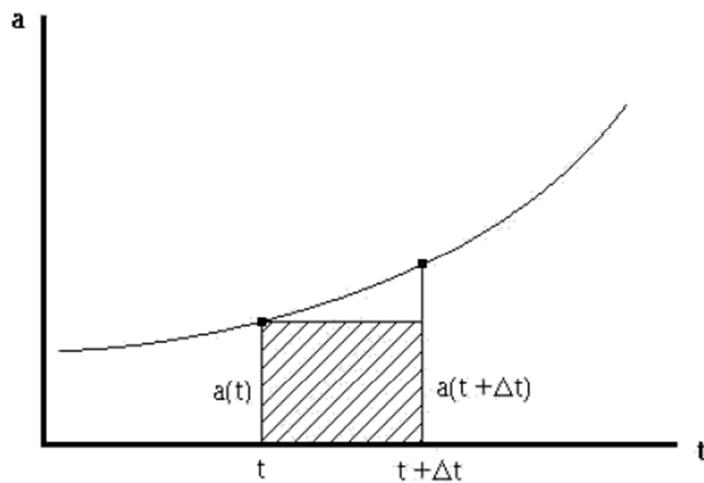
Irabazi proportzionalari dagokion adarrean ez dago s operadorerik, transferentzia funtzioa ez da denboraren menpekoa. Z planora bihurtzean, beraz, ez du inolako moldaketarik jasan behar

$$U_p(s) = K_p E(s) \qquad U_p(z) = K_p E(z) \qquad (2.6)$$

Adar integratzailearen bihurketa.

$$\frac{U_i(s)}{E(s)} = K_i \frac{1}{s} \quad \rightarrow \quad \left[S = \frac{z-1}{T_s} \right] \quad \rightarrow \quad \frac{U_i(z)}{E(z)} = \frac{(K_i T_s) z^{-1}}{1-z^{-1}} \quad (2.7)$$

Integrazioak funtzio baten azalera adierazten du limiteek definitutako tartean. Funtzio jarraitu batek, lehenago adierazi bezala, laginketa momentuen artean balio aldakorrak izaten ditu. *Eulerren* diskretizazio adierazpenak azalera kalkulatzeko aldaketa horiek arbuiatzen ditu eta zuzenean irakurketa eta laginketa-periodoaz baliatuz laukizuzen baten azalera kalkulatu du. Laginketen artean balioa konstante mantenduz.



7.irudia: adar integratzailearen bihurketaren errepresentazioa

Adar deribatzailearen bihurketa:

$$\frac{U_d(s)}{E(s)} = K_d s \quad \rightarrow \quad \left[S = \frac{z-1}{T_s} \right] \quad \rightarrow \quad \frac{U_d(z)}{E(z)} = \frac{K_d}{T_s} \frac{1-z^{-1}}{z^{-1}} \quad (2.8)$$

Hiru adarren diskretizazioa banaturik aztertu ostean, berriz ere adierazpen bakarrean batu dira.

$$U(z) = U_p(z) + U_i(z) + U_d(z)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_p(z)}{E(z)} = K_p \Rightarrow U_p(z) &= K_p E(z) \\ \frac{U_i(z)}{E(z)} = \frac{(K_i T_s)z^{-1}}{1-z^{-1}} \Rightarrow U_i(z) &= K_i T_s E(z)z^{-1} + U_i(z)z^{-1} \\ \frac{U_d(z)}{E(z)} = \frac{K_d}{T_s} \frac{1-z^{-1}}{z^{-1}} \quad U_d(z) &= \frac{K_d}{T_s} (E(z) - E(z)z^{-1}) \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

$$U(z) = K_p E(z) + K_i T_s E(z)z^{-1} + U_i(z)z^{-1} + \frac{K_d}{T_s} (E(z) - E(z)z^{-1}) \quad (2.10)$$

2.1.3 Parametroen doiketa

Metodo analitiko zein numerikoak erabiliz parametroen doiketa zehatza lortu ahal izanda ere, proiektuaren helburua doiketa ez denez, baizik eta plataformari nabigazio ahalmenaz hornitzeko beharrezko software txertatuaren garapena egitea, eskuzko doiketa egitea erabaki da. Honetaz gain kontrol deribatzaileak zaratarekiko duen sentsibilitatearen ondorioz kontroladorearen irteeran ematen diren arazoak direla eta akzio deribatzailearen parametroari zero esleitzea erabaki da PI kontroladore bat osatuz.

2.1.4 Laginketa periodoa (T_s)

PID kontrolagailuen inplementazio digitalek sistemaren erantzuna moldatzen duten eta diseinatzaileak doitu beharreko lau parametro dituztela adierazi ohi da, hiru adarren konstanteei T_s laginketa periodoa gehitzen baitzaie.

Wescottek egindako azalpenean ondorioztatzen denez, hainbat faktore izan behar dira kontuan eta ez da erraza askotan oinarri teorikotik abiatuta praktikan inplementatu beharreko maiztasuna ezartzea. Sistemetan lagindutako seinalearen itxuraz gain honen bidean ezartzen diren atzerapenek ere berebiziko garrantzia dutela adierazten du.

Kontrola burutzeko beharrezko denbora kontutan izan behar da eta hau seguritatez exekutatzeko laginketa maiztasuna azken hau baino 10 – 20 aldiz handiagoz gain lagintzea gomendatzen da.

Proiektu honen PID aren kasuan atzerapena kodetzailearen erresoluzio baxuak dakar, birako 3 pultsu ematen dituelarik. Kontutan izanik lortu nahi den abiadura minimoa 50rpm dela pultsuen arteko harrapaketa denbora kalkulatu genezake.

$$\frac{50\text{bira}}{\text{min}} * \frac{3\text{pultsu}}{\text{bira}} * \frac{\text{min}}{60\text{seg}} * 53(\text{erreduktorea}) = 132.5 \text{ pultsu /segundo}$$

$$\text{Pultsu bat lortzeko } \frac{1}{132.5} = 7.5\text{ms} \quad \text{gutxienez } \times 10 = 0.075\text{s}$$

Exekuzioan arazorik egon ez dadin 0.1 segundoko laginketa maiztasuna aukeratu da.

2.1.5 Abiadura kontrolaren inplementazio

Abiadura kontrolaren inplementazioa egiteko *Input capture*, *output compare* eta *timer* moduluak erabili dira.

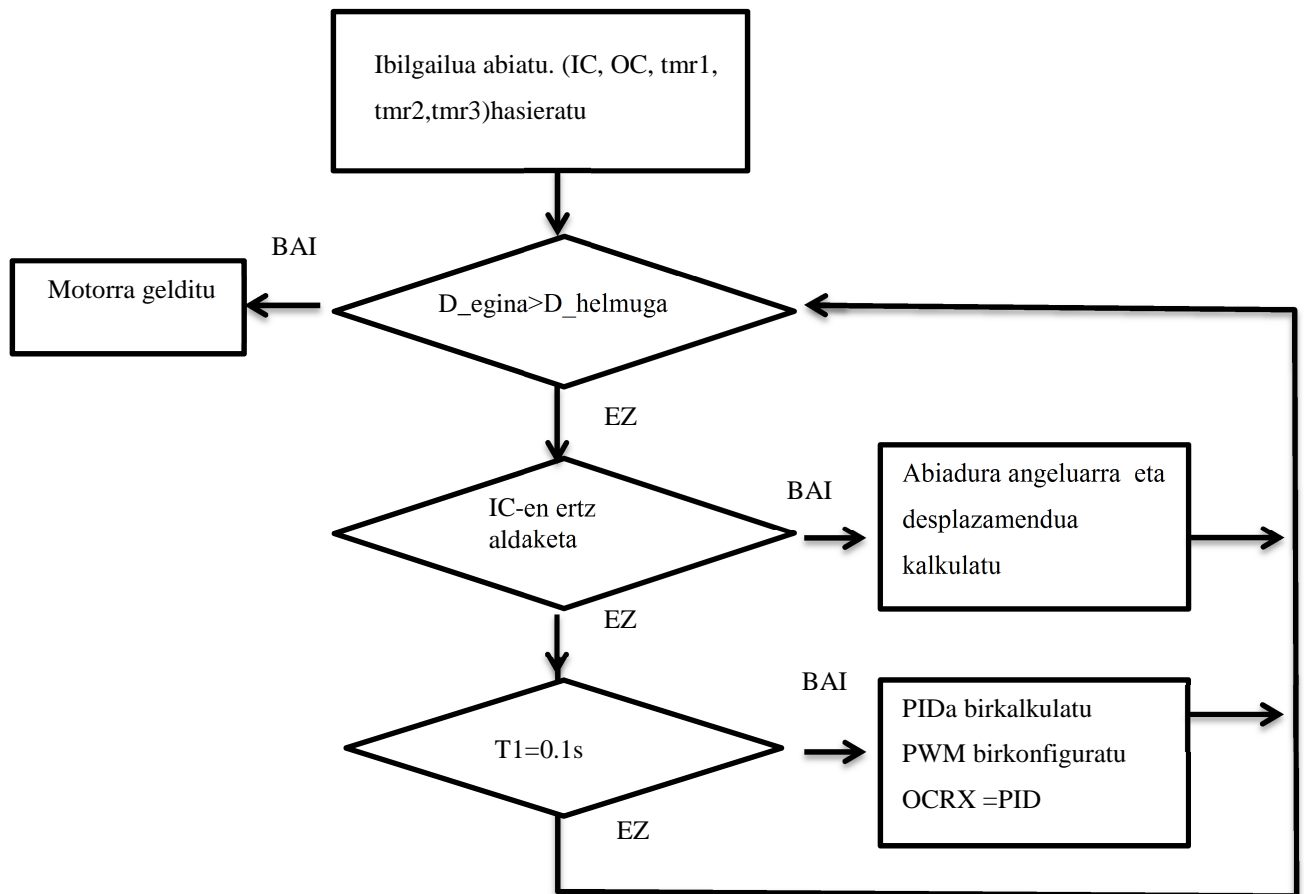
DC motorraren kodetzailearen pultsuak *input capture* modularen bitartez jasotzen dira. Moduluaren ertz gorakor bakoitzean harrapaketa bat egiteko eta harrapaketa bakoitzean etendura bat egiteko programatu da.

Harrapaketa bakoitza egiterakoan moduluak elkartu zaion tenporizadorearen balioa IC bufferrean gorde eta etendura sortzen du ondoren etendura kudeaketan bi ertzen arteko denbora neurtu eta abiadura kalkulatu da.

Bigarren tenporizadore baten bitartez laginketa maiztasuna neurtu eta hau heltzerakoan etendura bat sortzen da. Bertan azken laginketako abiaduraren balioarekin PID-a birkalkulatu da.

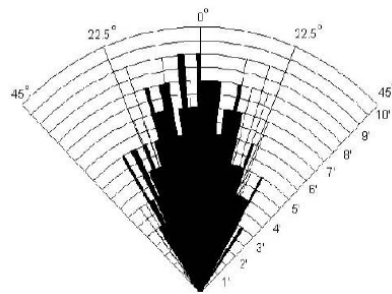
Azkenik *output compare* modulua erabiltzen da PWM seinale bat sortzeko. Seinalearen maiztasuna ezartzeko hirugarren tenporizadore bat erabiltzen da eta seinalearen lan zikloa, *Duty-cycle* delakoa, aldatzeko PID-aren balioa OCRXS erregistroan kargatzen da.

- **Abiadura kontrol algoritmoa**



2.2 Ultra soinu sentsore eta serbomotorearen kontrola

Plataformaren ikusmena garatzeko, aurrean oztoporik dagoen sumatzeko, serbomotore eta ultrasoinu sentsore batez osaturiko sistema inplementatu da. Ultrasoinu sentsoreak bere aurrean 30° angeluaren barnean agertzen diren oztopoak sumatzeko gai da.



8. irudia: Ultra soinu sentsorearen lan test-a

180°-tako biraketa eskaintzen duen serbomotore bat akoplatu zaio detekzio ahalmena 30°-tik 180°-tara handitzeko.

Bere aurrean oztopoa detektatzen baldin badu serbomotorearen laguntzaz bere aurrealdean 180° gradutako inguruaren azterketa gauzatzen du eta oztopoa nondik saihestu behar duen aukeratzen du.

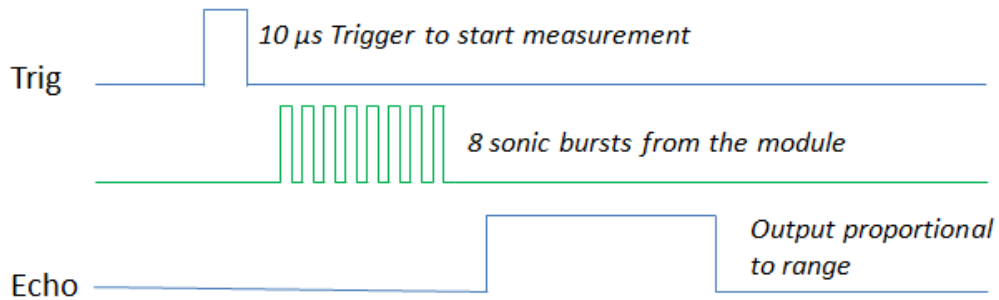
2.2.1 Ultra soinu sentsorearen kontrola

Ultra soinu sentsoreak zentimetro gutxi batzuetatik metro batzuetara dauden objektuak nabaritu ditzaketen gertutasun detektagailuak dira. Sentsoreak soinu uhinak igorri eta seinalea bueltan sumatzen du. Seinalea objektu baten errebotatzean sorturiko oihartzuna sumatu eta seinale elektrikoan bihurtzen dute. Sentsoreak airearen bitartez soilik lan egin dezake eta forma anitzetako objektuak detektatu ditzakete. Distantzia soinuaren abiadura (340m/s) eta igarotako denboraren bitartez kalkulatzen da. Kalkulua egokia izateko kalkulaturako distantzia bigatik zatitu behar da 2.16 ekuazioan ikusten den bezala, soinu seinaleak joan etorriko ibilbidea gauzatzen baitu.

$$Distantzia(cm) = (denbora (s) * 340 m/s * 100 cm/m)/2 \quad (2.16)$$

2.2.2 Ultra soinu sentsoarearen implementazioa

Ultra soinu kontrolaren implementazioa egiteko *Input capture*, *I/O atakak* eta *timer* moduluak erabili dira.



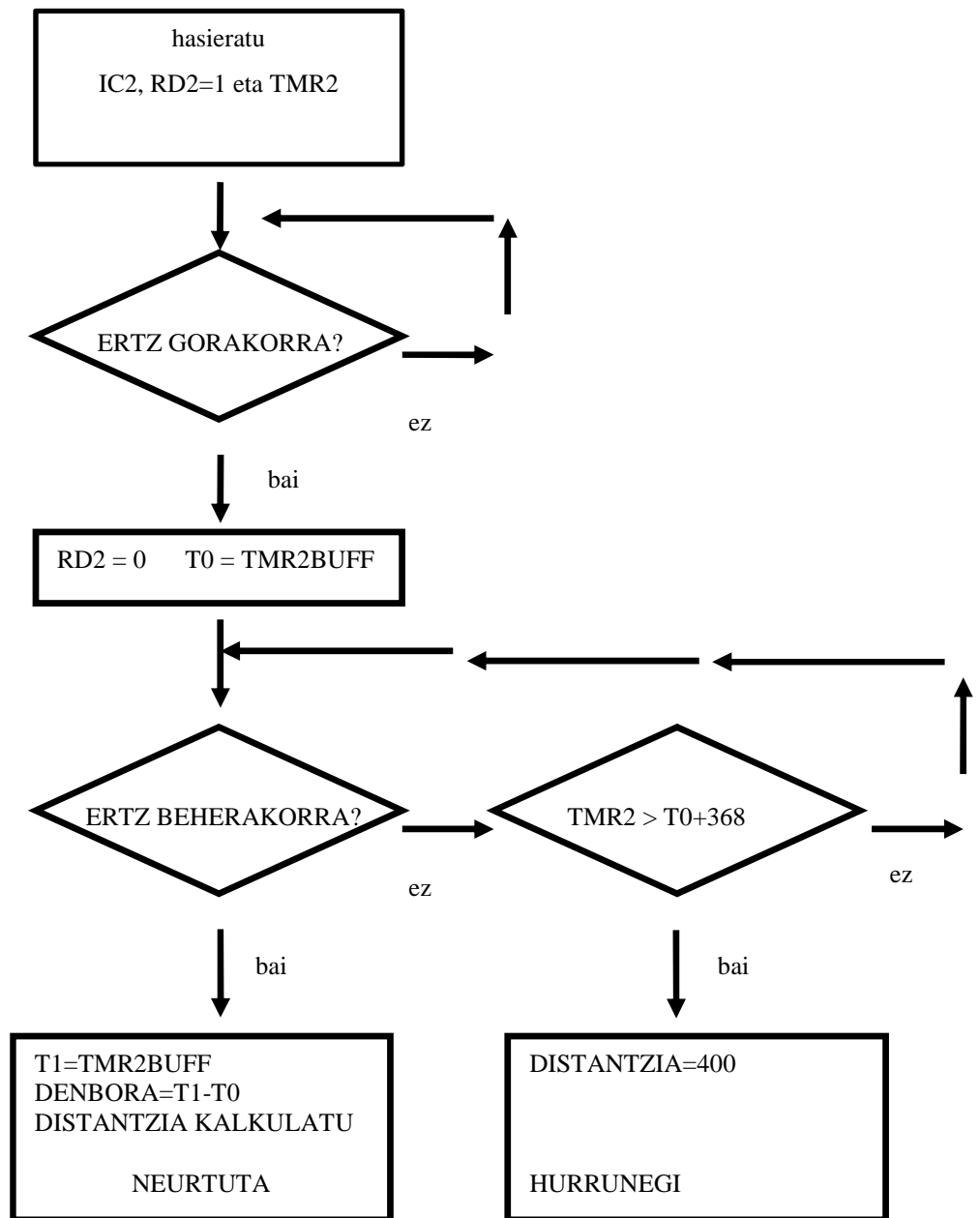
9. irudia: HC-SR04 sentsoarearen lan denboren diagrama

9.irudian ikusten den bezala sentsoarea martxan jartzeko 10us-ko iraupena duen maila logiko altuko seinalea aplikatu behar zaio. Honetarako I/O atakaketako pin bat irteera bezala konfiguratu sentsoarearen *trig* pinera konektatu eta begizta baten laguntzaz 10us iraupena duen pultsua sortu da. Ondorioz sentsoareak soinu seinalea igorri eta ertz gorakor bat sortzen du. Soinu seinaleak errebotatu eta oihartzuna jasotzean beranzko ertza jasotzen du.

Echo seinalea *input capture* harrapaketa moduluaren bitartez kudeatu da. Moduluaren ertz bakoitzean harrapaketa bat egiteko eta harrapaketa bakoitzean etendura bat egiteko programatu da. Harrapaketa bakoitza egiterakoan moduluak elkartu zaion tenporizadorearen balioa IC bufferrean gorde eta etendura sortzen du ondoren etendura kudeaketan bi ertzen arteko denbora neurtu eta (2.16) ekuazioaren bitartez distantzia kalkulatu da.

Aldi berean harrapaketa moduluari elkartu zaion tenporizadorearen balioa ikusten da lau metroren barruan oztoporik aurkitzen ez bada seinalearen Oihartzunaren zain egon beharrean sistemak hurrera jarrai dezan.

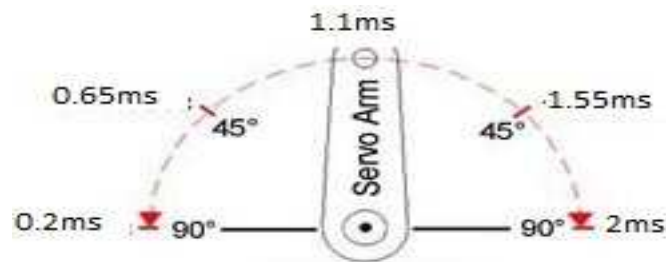
- Ultra soinu sentsorearen kontrol algoritmoa



Serbomotorearen kontrola

Serbomotore bat korrante zuzeneko motorren antzeko gailu bat da eta bere lan marjinaren barruan edozein posiziotan mantentzeko ahalmena du zehaztasunez. Honen ondorioz ultrasoinu sentsorearen detekzio ahalmena handitzeko asmoarekin eta plataformaren haurrean zer dagoen ikuskatzeko 180°-tako biraketa ahalmena duen serbomotorea akoplatu zaio sentsoreari.

Serbomotorea PWM seinale baten bitartez kontrolatzen da. 10.irudian adierazten denez 0° eta 180° bitarteko biraketa gauzatzeko 2ms-ko pultsu zabalera duen PWM seinalea sortu eta bere lan zikloaren arabera posizio ezberdinak hartuko ditu.



10. irudia: serbomotorea

Serbomotorea 0° eta 180° artean 45°-tako biraketak eginez bost posizio hartzeko programatu da.

Posizio bakoitzean ultrasoinu sentsorearen laguntzaz distantzi neurtuko eta distantzia handienaren angelua gordetzen da.

Ondorengo formularen bitartez pulsu zabalera eta OC5RS PWM-aren lan zikloaren kontrolaz arduratzen den erregistroaren erlazioa adierazten da.

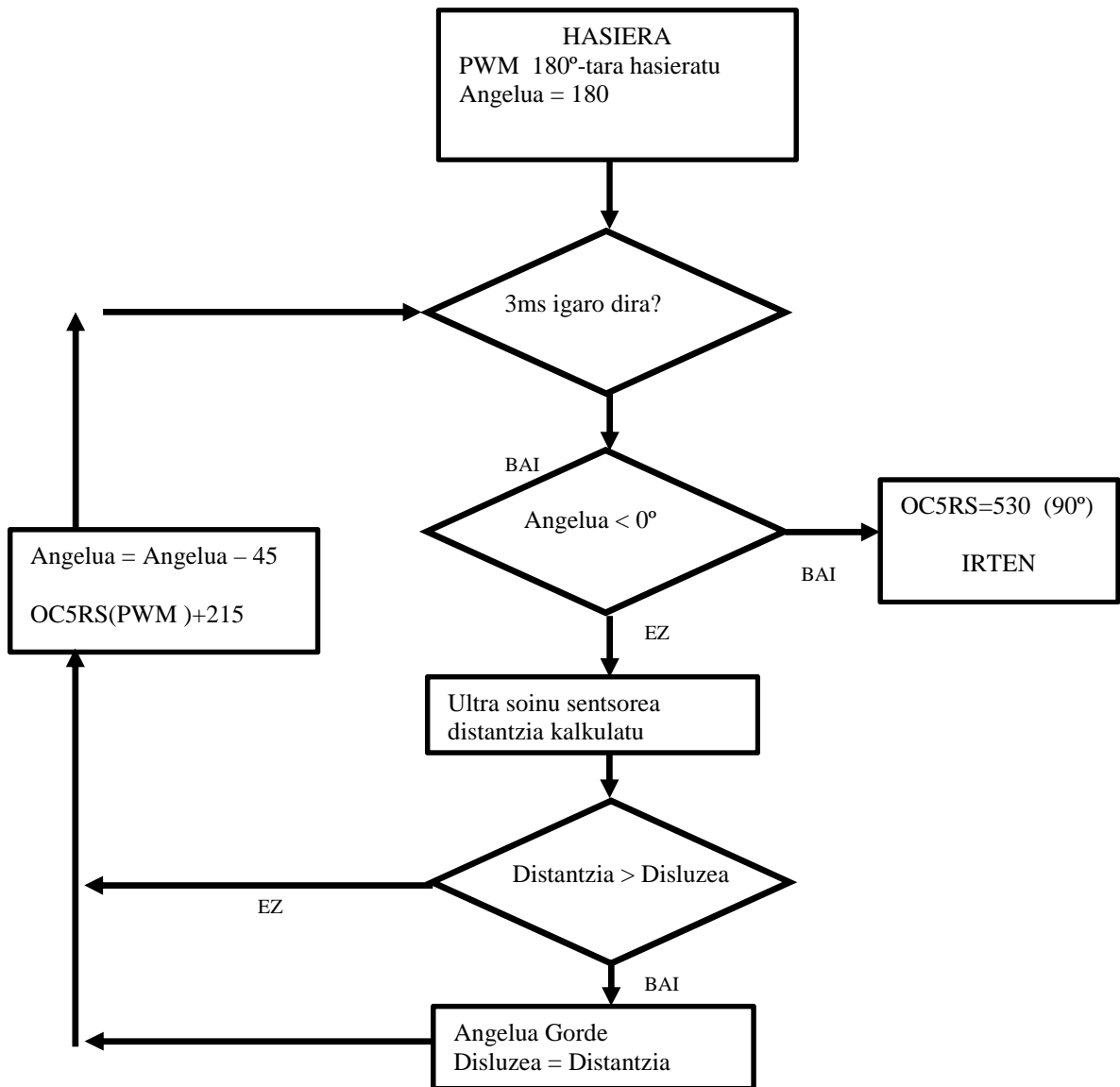
$$\frac{\text{Pulstu zabalera}(s) * 4 \times 10^6}{8} = \text{OC5RS}$$

2.2.3 Serbomotorearen Implementazioa

Ultra soinu sentsorearen implementazioa egiteko *Output compare* eta *timer* moduluak erabili dira.

Bien bitartez PWM seinaleak sortu eta hauen lan zikloa kontrolatu da.

- Serbomotorearen kontrolaren algoritmoa



2.3 Nabigazio Kontrola

Plataformari mugimendua eta oztopoak saihesteaz gain nabigazioa ahalmena eman zaio, hau da irteera puntu batetik helmuga puntu batetara heltzea nahiz eta bidean oztopoak aurkitu eta hauek saihesteko norabidea aldatu beharra izan. Zeregin honetan laguntzeko konpas digital bat erabili da. Kontrolagailua eta konpas digitala I2C serie komunikazioaren bitartez komunikatzen dira.

2.3.1 I2C serie komunikazioa

I2C (Inter-Integrated Circuit) serie komunikazio bus bat da. Batez ere, mikrokontrolagailuen eta beraien periferikoen komunikazioetarako.

I2C komunikazioaren ezaugarri nagusia komunikaziorako bi lerroren erabilera da, bata datuentzako eta bestea erloju seinaleentzako. Masa erreferentzi bat ere beharrezkoa izaten da.

I2C protokoloa jarraitzen duten mezuek ondorengo formatua dute:

| start | A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 R/W | ACK | ... DATA ... | ACK | stop | idle |

I2C busaren bitartez komunikatzeko bertara konektatuta dauden gailu guztiak protokolo hau jarraitu behar dute pausuz pausu:

- SDA eta SCL maila logiko altuan daudenean busa libre dagoela esan nahi du.
- Busa libre dagoela edozein gailuk maisu bezala busa okupatu dezake.
- Maisuak "start condition" deituriko patroia bidaliko du komunikazio hasteko, seinale hau sumatzerakoan gailu guztiak hurrengo ekintzaren zain geratuko dira.
- Maisuak byte bat bidaliko du nahi duen gailuari zuzenduta. Honetarako (A7-A1) bitak komunikatu nahi den esklaboaren helbidea adierazten dute eta (A0) bitak egin nahi den operazioa (Irakurketa/Idazketa) adierazten du. A0=1 esklabotik jaso, A0=0 esklabora bidali.
- Busera konektaturiko gailu guztiak jasotako helbidea eta norberarena konparatu eta berdinak izanez gero igorle edo hartzaile bezala lan egiteko prestatzen da.

- Esklaboak ACK(aknowledge) seinale bat erantzungo du, maisuari eskaera ulertu eta prest dagoela adierazteko.
- Jarraian gailuen arteko komunikazioa hasiko da.
- Maisuak idatzi edo irakurri nahi duen erregistroaren helbidea bidaliko du.
- Esklaboak ACK bateren bitartez erantzungo du.
- Jada maisuak datu transferentzia hasi dezake. Datu byte guztiak 8bit izan behar dituzte eta bidaliko diren byte kopurua orokorrean esklaboaren ezaugarrien araberako da.
- Maisuak Idatzi/irakurri-tako bit bakoitza jaso duela erantzutera derrigortuta dago esklaboa ACK baten bitartez.
- Azkeneko bi pausuak errepikatzen dira nahi diren datu guztiak idatzi edo eskuratu arte.
- Nahiz eta aginduak maisuak ezarri baliteke esklaboaren lan abiaduragatik edo datuak eskuragarri ez izatearren berehala erantzun ezin izatea. Kasu hauetan esklaboak SCL lerroaren balioa maila logiko baxuan jar dezake eta honek maisuari itxaron egin behar duela adierazten dio esklabua prest egon arte hurrengo datu transferentzia abiatzeko.
- Komunikazio bukatzerakoan maisuak "stop condition" patroia bidaliko du eta busa aske utziko du.
- Busa libre utzi ondoren derrigortuta daude busa momentu batez libre uzten.

2.3.2 Konpas digitala

Konpas digitala magnetometro baten laguntzaz lurraren eremu magnetikoa neurtu eta erantzuna ,norabidea, koordenatu kartesiarren bitartez ematen du. Proiektu honetarako *Continous mesurement* modua aukeratu da, modu honetan konpasak eten gabe irakurketa berriak egin eta erregistroetan gordetzen ditu erabiltzaileak eskuragarri izan ditzan.

Hiru ardatz dituen konpas digitala da, ardatz bakoitzak (x, y eta z) 16 biteko hitz batez osatuta dago. Aldi berean ardatz bakoitzaren balioa 8 biteko bi erregistrotan gordetzen da, erabiltzaileak I2C komunikazioaren bitartez eskuragarri dituelarik. Erabiltzaileak sei erregistroak irakurri arte irakurketa berriaren balioa ez da erregistroetan gordetzen, beti ere 160Hz-etako abiadura maximoarekin.

2.3.3 Nabigazio estrategia

Plataformak abiadura konstante batez eta higidura zuzenaz programatutako norabidea jarraituko du. 0.1 segundoro bere haurrean oztoporik dagoen eta norabidea ondo jarraitzen hari den ikusiko du.

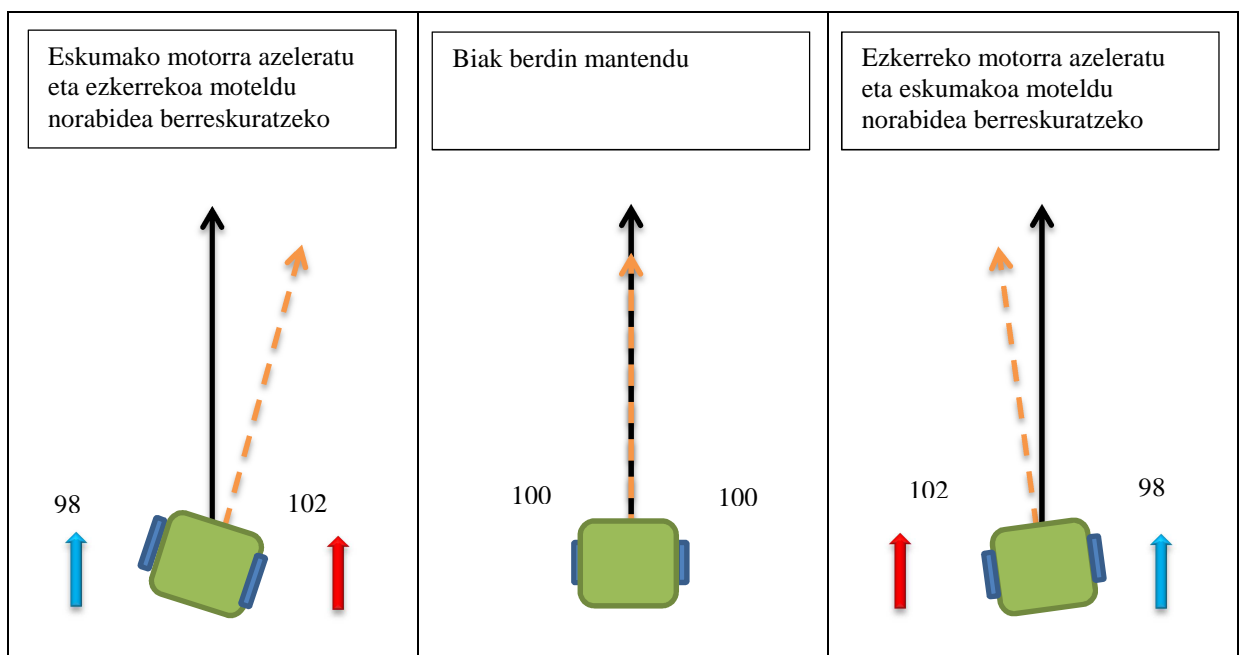
Oztoporik sumatzen baldin bada, gelditu eta serbomotore eta ultrasoinu sentsorearen bitartez bere haurrean 180 gradutan zehar bost posizio(0°, 45°,90°,135°,180°) hartu eta distantziak neurtuko ditu, distantzia handiena eta bere posizioa gordez.

Oztopoa ekiditu beharreko angelua ezagututa ibilgailua konpasaren laguntzaz biratu egingo da eta neurtutako distantziaren erdia higituko da oztopoa gainditzeko eta berriz ere gelditu egingo da.

Helmuga puntura irizteko norabide eta distantzia berriak kalkulatu, biraketa egin eta higidura zuzena hasiko du berriz ere helmuga puntura.

- **Higidura zuzena**

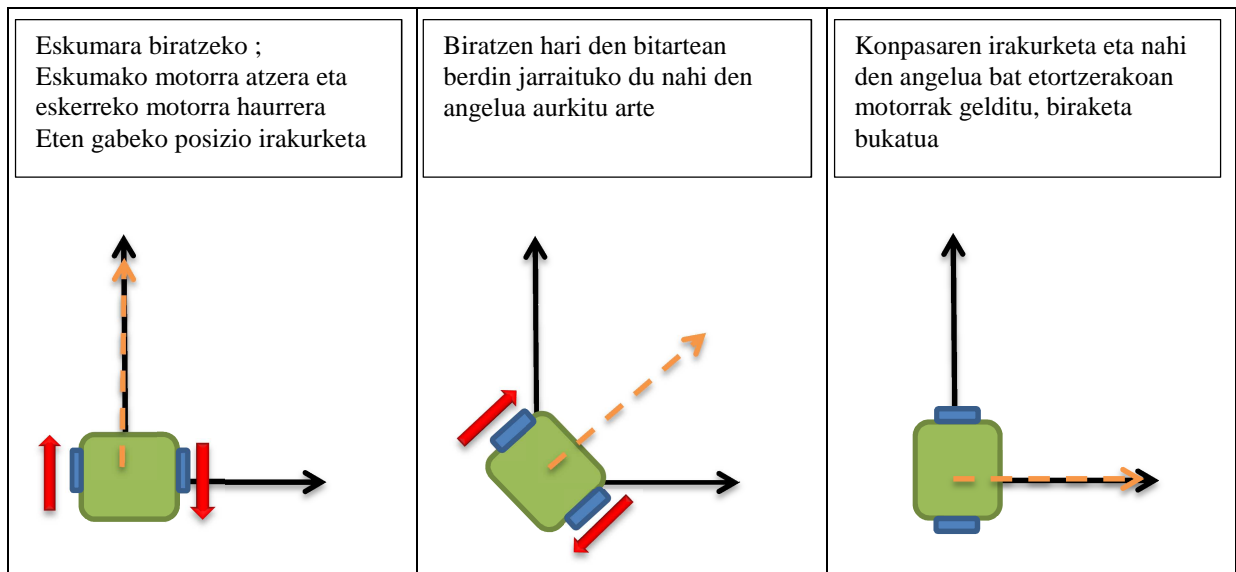
Plataforma 100rpm-tako abiaduran desplazatzen da eta 0.1segundoko maiztasunarekin bere norabidea ikusi eta programatutakoarekin bat ez badator motorren abiadura aldatuko du norabidea berreskuratzeko.



11. Irudia: Higidura zuzenaBiraketa

Biraketak egiterakoan plataforma 50rpm-tara biratuko da, abiadura higidura zuzenarekin alderatuta murriztu egin da lortu nahi den biraketa angelua zehaztasun handiagoz gauzatzeko.

- Biraketa angelua 0 baino handiagoa bada, erlojuaren orratzen kontrako noranzkoa, eskumako motorrak haurrera egingo du eta ezkerrekoak atzera.
- Biraketa angelua 0 baino txikiagoa bada, erlojuaren orratzen noranzkoa, ezkerreko motorrak haurrera eta eskumakoak atzera egingo du.

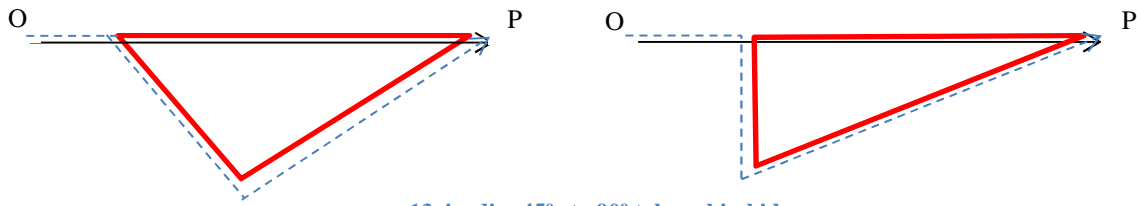


12. irudia: Biraketa

Plataformak nabigazioan zehar hurrean oztopoa sumatzen duenean, ultrasoinu eta serbomotorearen laguntzarekin lehenengo biraketa angeluaren balioa eskuratzen du ondoren oztopoa saihesteko hiruki itxura duen bide bat gauzatzeko du.

Oztopoa albo batera uzteko biraketa eta higidura zuzena gauzatu hondoren, helmuga puntura irizteko kalkulu berriak gauzatzeko “bidebarri” izena hartzen duen azpiprograma garatu da.

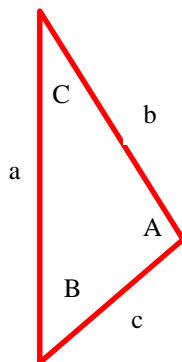
Oztopoa gainditzeko biraketa 45° edo 90°-tako den bereiztu eta helmugara irizteko biraketa angelua eta distantzia kalkulatzeko dira



13. irudia: 45° eta 90° tako sahiesbidea

Oztopoa ekiditeko 45°-tako biraketa egin bada, kosinuaren teorema erabilita biraketa angelua eta distantzia kalkulatzeko dira.

Alde bi eta beraien arteko angeluak kalkulatu daitezke, hauek ezagututa hirugarren aldeak kalkulatu da kosinuaren teorema erabilita. Alde hau helmugara irizteko distantzia berria da. Behin hiru aldeak ezagututa norabidea helmuga puntua izateko biratu beharreko angelua kalkulatu da.



Hirukiaren aldeak; a, b, c
Hirukiaren angeluak; A, B, C

$$a = OP - \text{Distantzia egina}$$

$$c = \text{distantzia luzea}/2$$

$$B = 45^\circ$$

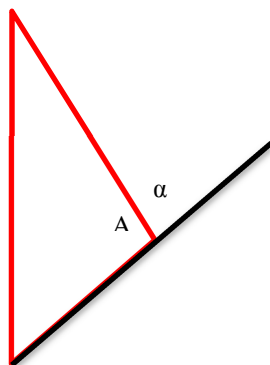
Helmugara distantzia berria (b)

$$b = \sqrt{a^2 + c^2 - 2ac \cos(B)}$$

biratu beharreko angelua

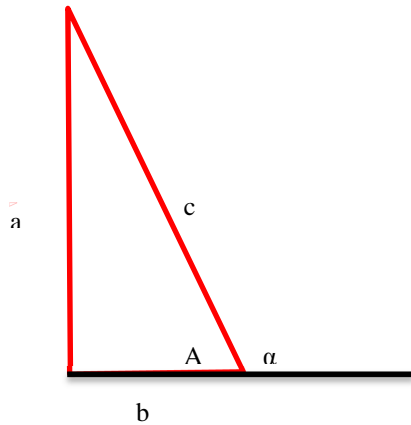
$$A = \arccos\left(\frac{a^2 - b^2 - c^2}{2bc}\right)$$

$$\alpha = 180^\circ - A$$



14. irudia: isoszelez triangelua

- Oztipoa ekiditeko 90° -tako biraketa egin bada, Pitagorasen teorema erabilia biraketa angelua eta distantzia kalkulatu dira.



15. irudia: triangelu zuzena

Hirukiaren aldeak; a, b, c

$a = OP - \text{Distantzia egina}$

$b = \text{distantzia luzea}/2$

Helmugara distantzia berria(c)

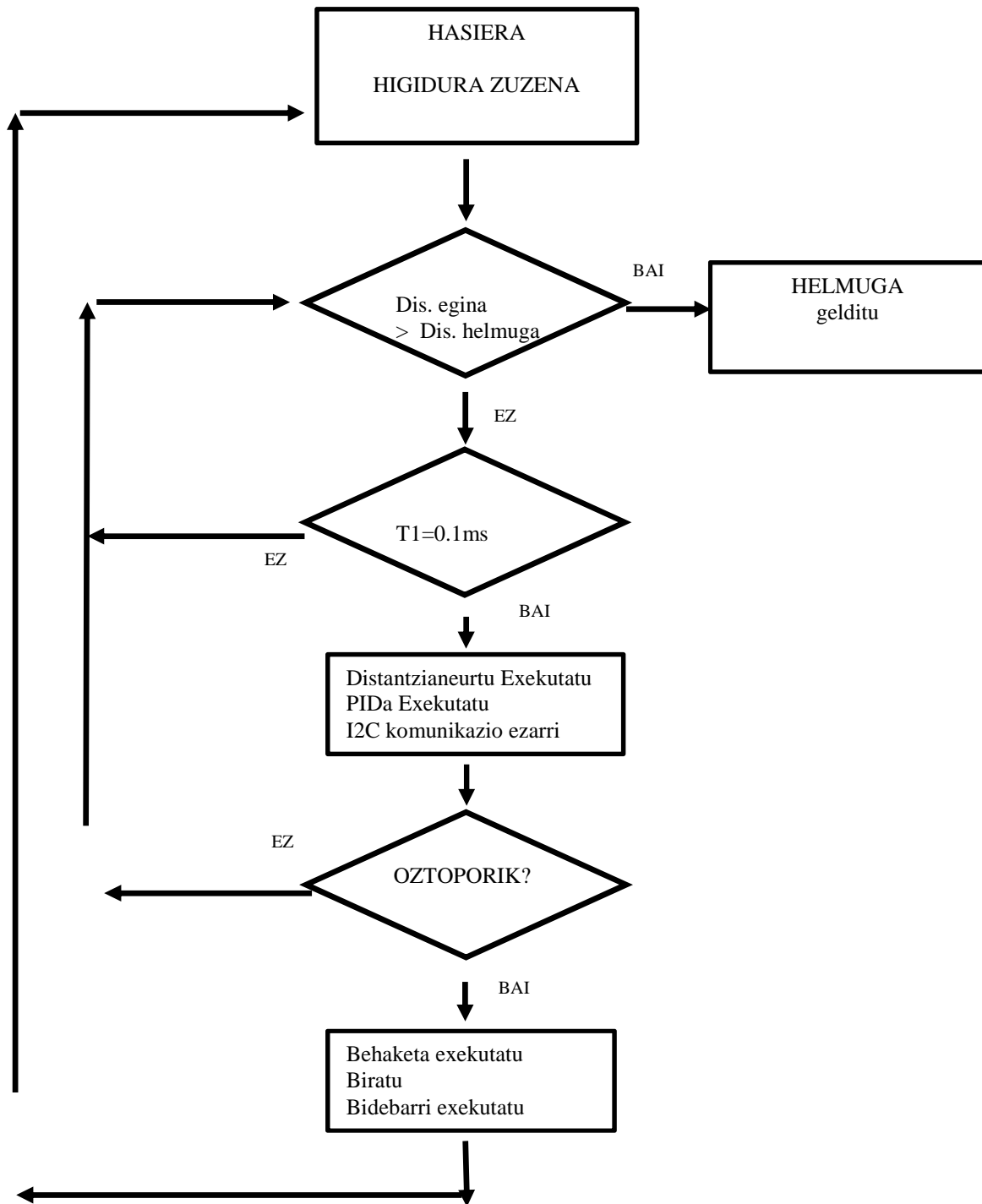
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Biratu beharreko angelua

$$A = \text{Arctg}\left(\frac{a}{b}\right)$$

$$\alpha = 180 - A$$

Nabigazio algoritmoa



3 Emaitzak eta kalkuluak

3.1 Abiadura

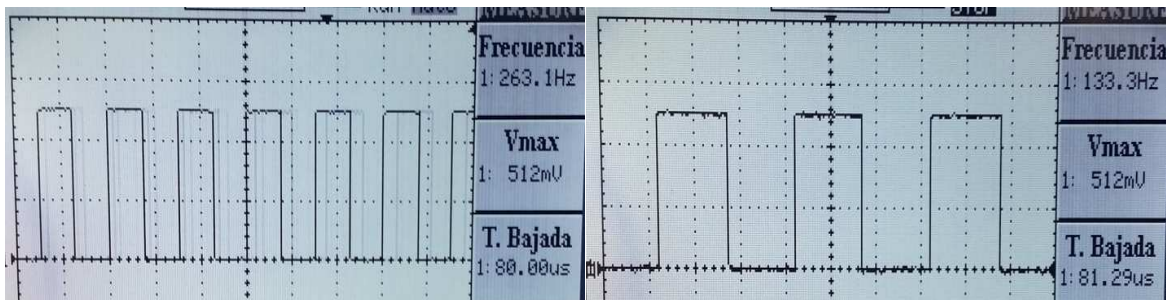
Abiadura kontrola eskuzko doiketaren bitartez doitzeko osziloskopioaren laguntzaz motorrak emandako abiadura neurtu da. Honetarako kodetzaileak emandako maiztasuna eta lortu nahi den abiadurak eman beharko lukeen maiztasuna alderatu dira.

$P=0.049$ eta $I=0.058$ parametroen balioekin [16.irudiko](#) argazkietan agertzen den bezala oso emaitza hurbilduak lortu dira.

Lortu nahi diren abiadurak

$$100\text{rpm} \Rightarrow \frac{100\text{bira}}{\text{min}} * \frac{3\text{pultsu}}{\text{bira}} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}} * 53\text{erreduktorea} = 265\text{pultsu/segundo}$$

$$\begin{aligned} 50\text{rpm} &\Rightarrow \frac{50\text{bira}}{\text{min}} * \frac{3\text{pultsu}}{\text{bira}} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}} * 53\text{erreduktorea} \\ &= 132.5\text{pultsu/segundo} \end{aligned}$$



16. irudia: Kodetzailearen bitartez neurturiko maiztasunak

3.2 Ultra soinu sentsorea

Ultra soinu sentsoreak zenbait arazo ematen dituela sumatu da. Bere haurrean dauden objektuak hurrez hurre aurkitzen baditu eta lauak badira distantzia neurketa nahiko zehatza burutzen du.

Dis. Erreala	10	30	60	120	190
Dis. Neurtua	9	28	56	115	182

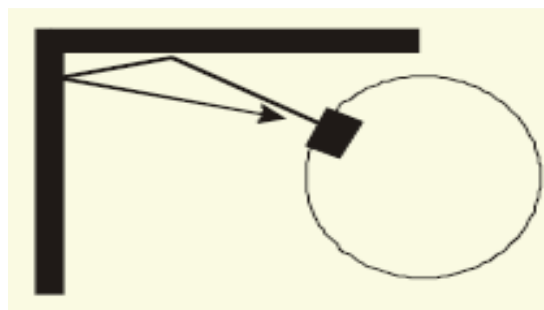
17. irudia: Ultra soinu entseguaren emaitzak

17.irudian ultra soinu sentsorearekin eginiko entseguaren emaitzak azaltzen dira, bertan neurketek gutxi gora behera %5-eko errore bat dutela ikusten da. Errore hau zuzentzeko programazioan neurturiko distantziari 1.05-eko zuzenketa faktore bat aplikatu zaio.

Bestalde ultra soinu sentsoreak uhinak igortzerakoan, uhinek islapen lege orokorrak jarraitzen dituzte eta onen ondorioz zenbait inguruetan neurketa arazoak agertzen dira.

Uhina eta objektuaren arteko intzidentzia angelua oso txikia bada baliteke oihartzuna ez jasotzea eta objektua ez detektatzea.

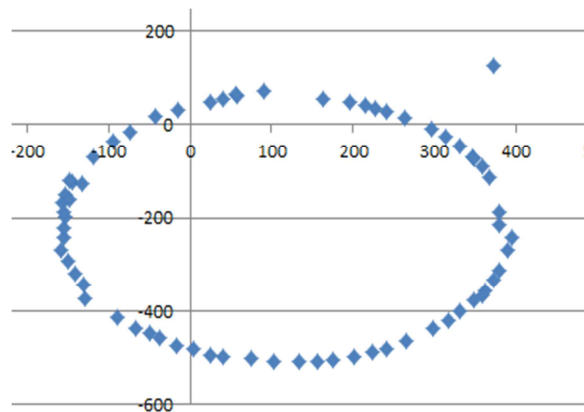
Oihartzun faltsua(18.irudia) izenez ezaguturiko errorea ere oso komuna da. Igorritako uhinak horma ezberdinetan errebotatzen du ibilbide luzeagoa eginez eta neurturiko denbora,ondorioz distantziak izan beharrekoak baino handiagoak direla ikusi da.



18. irudia: Oihartzun faltsua

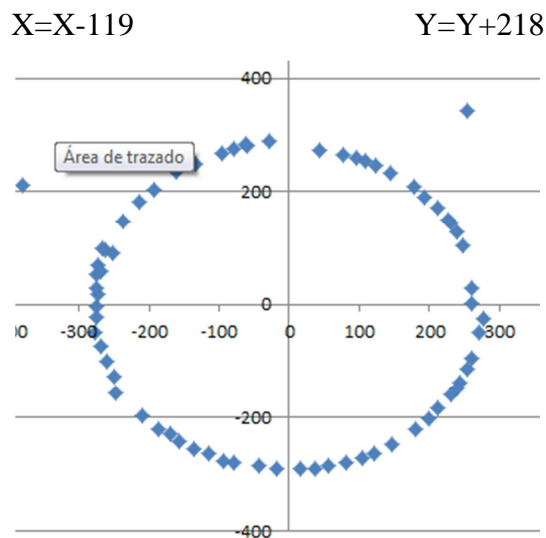
3.3 Konpas digitala

Konpasaren portaera aztertzeko 360°-tako biraketa gauzatu da eta 5°-ro laginketa gauzatu da. [19.irudian](#) ikus daitekeen bezala neurketek ez dute sakabanaketa uniforme jarraitzen. Bigarren koadrantean (90-180) bi laginketa gauzatu ondoren, hau da 10°, irakurketak 90° biratu izan balitz bezala portatzen da. Laugarren koadrantean (270-360) aldiz kontrakoa gertatzen da, 30 laginketa agertzen dira beraz 150 gradu biratu ondoren 90° biratu izan balitz bezala portatzen da.



19. irudia: Konpasaren frogaketa

Arazo hau zuzentzeko neurketei offset bat jarri zaie irakurketak zuzentzeko asmoarekin. Erantzuna mugimenduarekiko proportzionala izateko 360° biratuz gero sakabanaketa uniforme duen zirkunferentzia bat lortu arte ([20.Irudia](#)).



20. irudia: Konpasa egonkortuta

Honetaz gain konpasaren neurketak tenperaturaren arabera ere aldatzen direla nabarmendu da funtzionamendu egokirako behin eta berriz laginketa eta doiketa gauzatu beharrez.

3.4 Kontrol begiztaren egikaritzea

Kontrol begizta burutzeko beharrezko denbora MPLAB SIM programak duen STOPWATCH erremintarekin neurtu da. Irudian ikusi daitekeen bezala kontrol algoritmoa gauzatzekoa 2373 erloju ziklo behar dira 593 u segundo iraupen denborarekin.

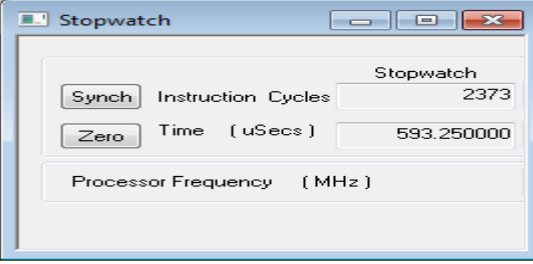
```

void PID(void)
{
    errorea=(konsigna-abiadura)/256; //errorea bilatu eta normal
    errorea2=(konsigna2-abiadura2)/256; //errorea bilatu eta nox
    errorebatura=errorebatura+errorea;
    errorebatura2=errorebatura2+errorea2;
    P=errorea*0.049;
    P2=errorea2*0.039;
    I=errorebatura*0.060;
    I2=errorebatura2*0.058;
    irtera = P+I;
    irtera2= P2+I2;

    if (irtera>1)
    {
        irtera=1;
    }
    if (irtera<0)
    {
        irtera=0.1;
    }
    if (irtera2>1)
    {
        irtera2=1;
    }
    if (irtera2<0)
    {
        irtera2=0.1;
    }

    OC1RS=irtera*256;
    OC2RS=irtera2*256;
}

```



21. irudia: begiztaren egikaritzea

Irteera PWM bitartez eragiten denez, PWM ziklo oso bat burutu arte ez da seinale berriaren irteera nabarituriko. 1KHz-eko PWM seinaleak ziklo osoa burutzeko 1ms igaro behar dira.

Abiadura neurtzeko kodetzaileraren bitartez gutxienez bi pultsu behar dira. Abiadura minimoa 50rpm izanda:

$$\frac{50\text{bira}}{\text{min}} * \frac{3\text{pultsu}}{\text{bira}} * \frac{\text{min}}{60\text{seg}} * 53(\text{erreduktorea}) = 132.5 \text{ pultsu /segundo}$$

$$\text{Pultsu biren arteko denbora: } \frac{1}{132.5} = 7.5\text{ms}$$

Hiru akzioak kontutan izanda begiztaren egikaritze denbora 9.093ms dira. Laginketa maiztasuna 100ms takoa da, Kontrol begiztaren egikaritze denbora baino ia X10 aldiz handiagoa. Beraz laginketa bakoitzean kontrol seinale berria bermatuta geratzen da.

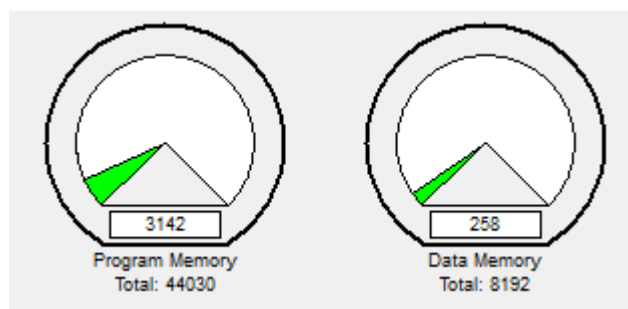
3.5 Kodeatzailearen bereizmena

Abiadura kontrola kodetzailearen erresoluzio baxua dela eta mugaturik dago. Kodetzaileak 3pultsu/ bira ematen ditu, bereizmen hau bikoiztu eta ondorioz kontrolaren exekuzio denbora txikitzeko asmoarekin, Kontrolagailuaren harrapaketa moduluak kodetzailearen goranzko eta beheranzko ertzen kudeaketa egiteko gai dela ikusi da.Honen ondorioz harrapaketa denbora erdira murriztu ahal dela ikusi da baina maiztasun handietara arazoen sorrera ekar ditzakeenez ez da proiektu honetan inplementatu..

3.6 Memoria erabilera

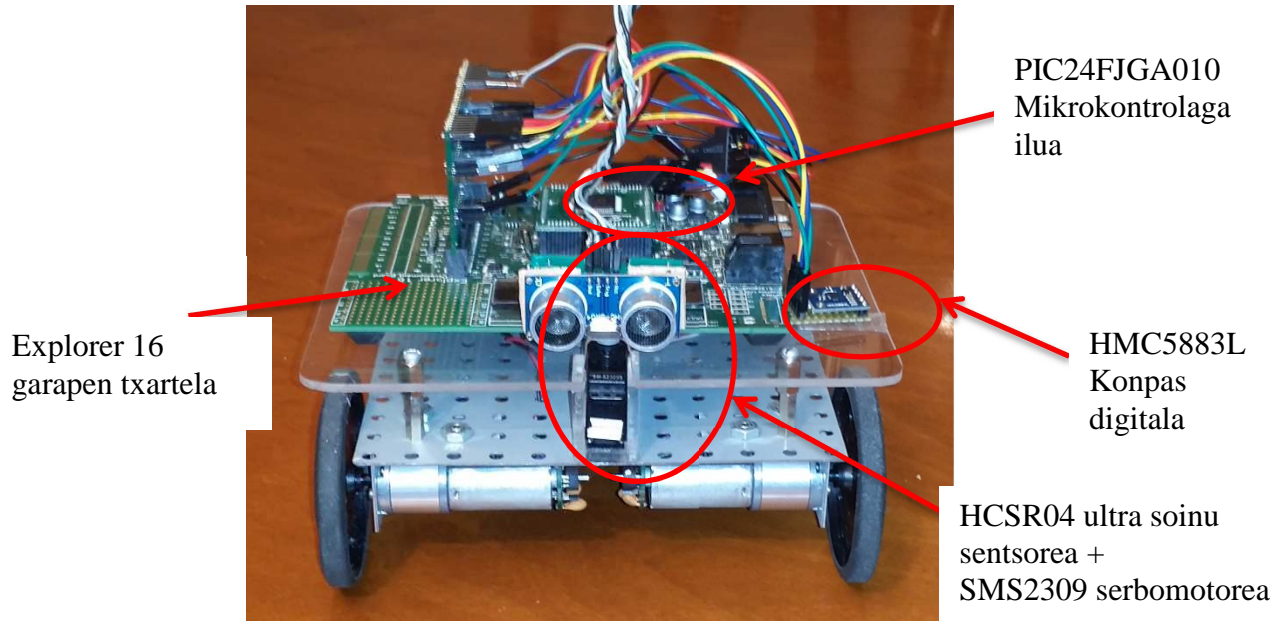
Kontrol txertaturako garatutako software guztiak PIC24FJGA010 mikrokontrolagailuak ematen dituen memoria baliabide minimoekin garatu da.

Programa memoria 3142 byte kontrolagailuak eskaintzen dituen 44030 bytetatik %7-a.
Datu memoria berriz 258 byte kontrolagailuak eskaintzen dituen 256 bytetatik %3-a.



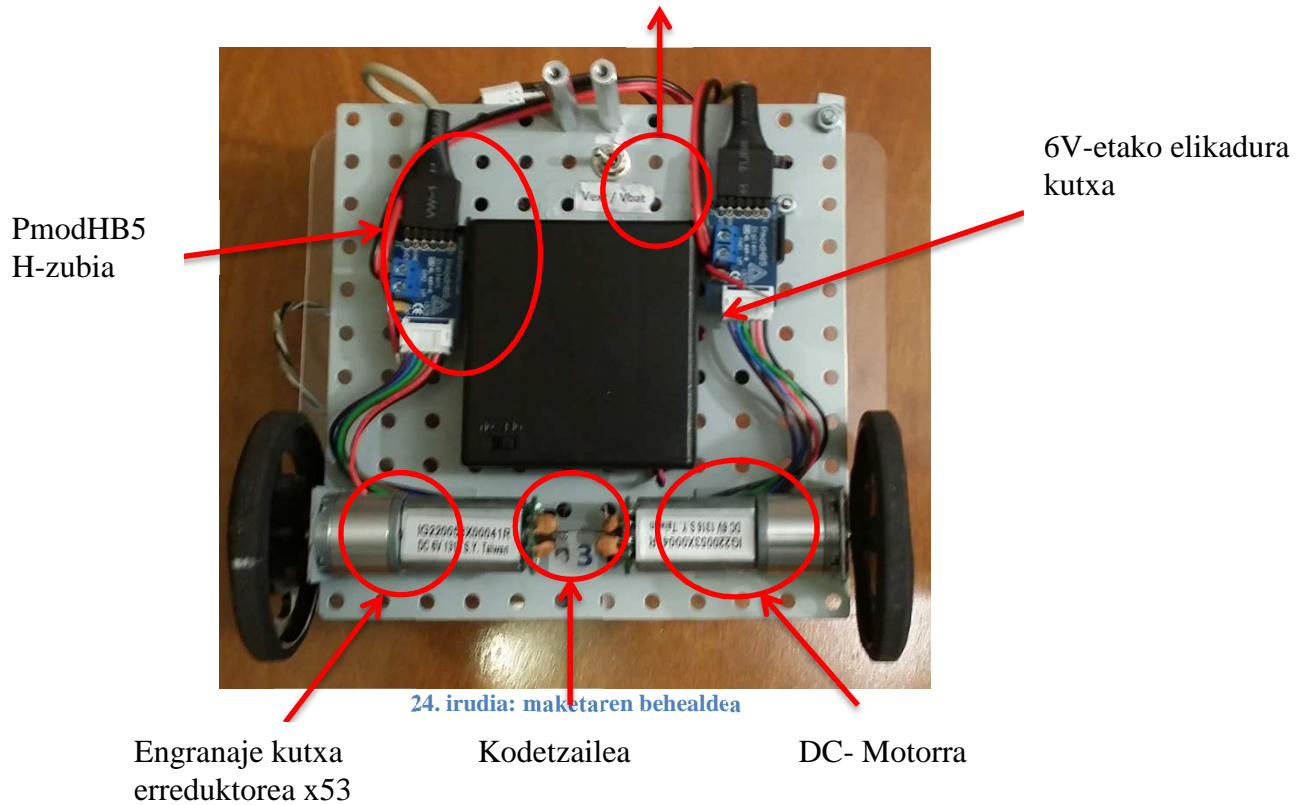
22.irudia: memoria erabilera

3.7 Maketa



23.irudia: maketa aurrealdetik

Elikadura iturri aukeraketa kontrola



24. irudia: maketaren behealdea

4 Ondorioak eta etorkizunerako lana

Industria Elektronikaren eta Automatikaren Ingeniaritzako Gradua titulazioaren azken urratsa den, proiektu honetan, goraiatzeko ondorio nagusia inbertitutako urteak hasiera batean ezagutzarik izan ez den gaien gainean proiektu bat egin eta hurrera ateratzeko medio eta baliabidez hornitzeko balio izan duela da.

Garatutako sistemari begira inplementatutako sensore eta aktuadoreak sistema mugatzen dutela ikusi da.

Abiadura kontrola kodetzailearen bereizmen txikiagatik mugatuta dago, honen portaera hobetzeko erresoluzio handiagoa duen kodetzaile baten erabilera onuragarria izango litzateke.

Plataforma ikusmenaz hornitzerako orduan ultra soinu sensore bat erabili da eta honekin inguruaren arabera arazo ugari ager daitezkeela ikusi da. Proiektu hau plataformari nabigazioa ahalmena emateko oinarritzko proiektu bat da eta funts hau betetzeko egitura basiko bat gauzatu da. Naiz eta arlo honetan gehiago ez sakondu, etorkizunera begira detekzio errore hauek konpontzeko asmoarekin interneten bidez ikusitako antzeko proiektuek sensore bakarra erabili beharrean bere aurrealdean hiru sensore erabiltzen dituztela ikusi da.

Nabigazioan oinarri den Kompas digitalak ere hobekuntza ugari beharko lituzke, motorren kontrolerako erabilitako PWM seinaleak sorturiko zaratek Kompas magnetikoan eragina dute. Kompas isolatzea edo hari apantailatuak erabiltzea gomendagarria izango zen.

Kompasa tenperaturaren arabera ere irakurketa ezberdinak ematen ditu eta funtzionamendu egokirako behin eta berriz konfiguratu beharra arazo eta denbora galtzea dela ikusi da. Explorer 16 txartelak badu bere baitan tenperatura sensore bat eta honen bitartez eta kompasak eskainitako konfigurazioarekin batera plataforma pizterakoan offseta kalkulatu lukeen softwarea garatzeak denbora galtze eta buru hauste ugariaren konponbidea izango zen.

5 Tresnak

- **Software garapena**

Sistema osoa Explorer 16 garapen txartelean implementatu haurretik, PC baten laguntzaz MPLAB IDE ingurunean eta MPLAB C30 konpilagailuaren bitartez software txertatua programatu da, azterketa arindu eta errazteko.

MPLAB SIM simulagailua erabili da programatutako bloke bakoitza eskuratu nahi diren datu teorikoekin alderatzeko.

Azterketa teorikoan adierazitako mugak betetzen dituztela baieztatu ostean hardwarearen implementazioa egin da Explorer 16 garapen txartela eta ICD3 programagailuaren laguntzaz.

Azkenik ICD3 arazlea eta laborategiko instrumentazioa (seinale sortzailea eta osziloskopioa) erabilia, sistemaren erantzun erreala eta teorikoaren arteko analisisia egin da.

- **Maketaren garapena**

5.1 Kontrolagailua

Kontrola egiteko PIC24F mikro kontrolagailua bere barnean artzen duen Microchipen Explorer 16 garapen txartela erabiliko da. Txartel honek lan eremu zabala eskaintzen du periferiko ugari biltzen dituelako. Eskuragarritasuna dela eta txartel hau hautatu da proiektu hau garatzeko, naiz eta mikro kontrolagailu sinpleago batekin nahikoa izan.



25.irudia: mikro kontrolagailuaDC motorra

Korronte zuzeneko bi IG22 (1.5W eta 6V) motor erabiliko dira. Gure proiektuan garrantzi handia izango dute, izan ere, gure ibilgailua mugiaraziko duten gailuak baitirelako. Ibilgailua bi gurpilez mugituko da eta gurpil bakoitza mugiarazteko motor bana erabiliko dugu. motorrak gure plataformako hurreko behe partean egongo dira kokaturik.



26. irudia: DC motorra

Motorrek 1/53 ko murriztaile bat dute atxikita. Horretaz gain bi kanaldun kodetzaile magnetiko bat ere badute, hauek 3 pulsu ematen dutelarik bira bakoitzeko. Beraien laguntzaz gurpilen abiadura eta desplazamendua kalkulatu da.

5.2 H-zubia

Digilent PmodHB5 motako H zubi bat erabiliko da motore bakoitzarentzat. H zubiak [2.5 , 5]V arteko elikadurarekin lan egiten du eta 12V-etako motore bat hornitu dezake.



27. irudia: H-zuibia

5.3 Ultrasoinu sentsorea

Ibilgailuaren noranzkoan oztoporik dagoen sumatzeko HCSR04 ultrasoinu sentsore bat erabiliko da. Sentsore honek [2,400]cm balio-tartearen barruan oztoporik dagoen ikusteko gai da 0.3cmko erresoluzioarekin eta 30 gradutako detekzio angeluarekin.



28.irudia: Ultra soinu sentsorea

Funtzionamendua ondorengo da, Sentsoreak lau pin ditu;

- **Vcc** eta **GND** , bi pinen artean sentsorea 5Vetara elikatzen da .
- **Trig**, pin honetan 10 μ s ko iraupena eta [3-5]V arteko balioa duen seinalea aplikatzen bada sentsoreak 8 zikloko soinu-seinale bat igortzen du.
- **Echo**, pin hau irteera bat da non soinu-seinalea igortzen den momentuan seinaleak balio logiko baxutik altura pasatzen da eta sentsoreak soinu-seinalea jasotzen duen unean balio baxura bueltatzen da.

$$\text{Distantzia} = (\text{Denbora maila altuan} * \text{abiadura}(340\text{m/s})) / 2$$

5.4 Serbomotorea

Ultra soinu sentsoreari akoplatuta SMS2309 serbomotorea jarriko da. Serbomotoreak 6V etara 1.20 Kg-cm ko torkea eta 0.10seg/60° abiadura du eta 180°-ko biraketa angelua.



29. irudia: Serbomotorea

Funtzionamendua ondorengo da, sentsoreak hiru pin ditu;

- **Black** eta **Red**, bi pinen artean [4.8-6]V bitarteko elikadura.
- **White**, seinalea.

Seinalea deituriko pina, sarrera bat da eta bertan PWM seinale baten lan zikloa aldatuz serbomotorearen angelua aldatzen da.

5.5 Kompas digitala

Nabigazioan zehar ibilgailuak daraman norabidea jakin ahal izateko eta hau gure helmuga puntuarekin bat etortzeko ibilgailu autonomoa kompas digital batez hornitu da. HMC5883L kompasak hiru ardatz ditu, 1° tako doitasuna eta 160 Hz eko maiztasun maximoa ditu. [2.16-3.6]V artean elikatu behar da.



30. irudia: Kompas digitala

Kompas digitalak I2C kable bi bidezko serie komunikazio protokoloa erabiltzen du, maiz-
esklabu komunikazio ezartzeko mikro kontrolagailuarekin.

Elikadura iturriak

Bi elikadura iturri independente izango ditugu;

- 9V etako pila erabiliko da Explorer 16 txartela elikatzeke, txartelak eskeintzen dituen konexioekin aldiz serbomotorea, ultra soinu sentsorea eta kompas digitala elikatuko dira.



31. irudia: 9V-eko pila

- AA 1.5V etako lau pilaz osaturako kutxa erabiliko da motorea 6V etara elikatzeke.



32. irudia: 1.5V-eko pliaz osaturiko 6V-eko kutxa

6 Bibliografia

- [1] Microchip. PIC24FJ128GA010 Family Data Sheet
- [2] Microchip. PIC24F Family Reference Manual, Sect. 15 Input Capture
- [3] Microchip. PIC24F Family Reference Manual, Sect. 16 Output Compare
- [4]] Microchip. PIC24F Family Reference Manual, Inter-Integrated Circuit™ (I2C™) [4]
- [5]Microchip. Explorer 16 Development BoardUser's Guide
- [6] Microchip. MPLAB® ICD 3In-Circuit Debugger User's Guide
- [7] Microchip. MPLAB® C Compiler for PIC24 MCUs and dsPIC® DSCs User's Guide
- [8] KatsuhikoOgata. *Ingeniería de control moderna*. PearsonEducación. 1998.
- [9]Programming 16-Bit PIC Microcontrollersin C. Learning to Flythe PIC24 (Lucio DiJasio, 2007)
- [10] El lenguaje de programacionen C, (Enrique Vicente Bonet Esteban)
- [11] Sistemas de Control Moderno – Dorf. Bishop
- [12] es.wikipedia.org/wiki/Ingeniería_de_control