

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol: Ajust del moviment d'un robot explorador mitjançant sensors de detecció de gir

Document: 1. Memòria

Alumne: Aleix Carbonell Leal

Tutor: Albert Figueras Coma

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: Enginyeria de Sistemes i Automàtica

Convocatòria (mes/any) Setembre/2020

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Antecedents	3
1.2. Objecte	3
1.3. Abast	3
2. ROBOT BIGBOT3.....	4
2.1. Placa dsPIC	4
2.2. Litestation	4
2.3. Terminal incorporat	5
2.4. Detecció de terrenys	5
2.5. Càlcul de "l'Alfa"	5
2.6. Modificació pels assajos	6
3. SENSOR DE DETECCIÓ DE GIR, HOKUYO URG-04LX.....	8
3.1. Descripció del URG-04LX	8
3.2. Adquisició de dades	12
3.3. Condicionament del Hokuyo pels assajos	16
4. ASSAJOS PER DETERMINAR "L'ALFA"	17
4.1. Metodologia dels assajos	18
4.2. Resultats a l'interior.....	19
4.3. Resultats al ciment.....	20
4.4. Resultats a l'asfalt.....	22
4.5. Resultats a l'herba	23
4.6. Comparativa entre terrenys.....	25
4.6.1. Gràfiques pel planificador de trajectòries.....	26
4.6.2. Gràfiques per la correcció dels càlculs d'odometria.....	28
5. RESUM DEL PRESSUPOST.....	30
6. CONCLUSIONS	31
7. RELACIÓ DE DOCUMENTS	32
8. BIBLIOGRAFIA.....	33

9. GLOSSARI	34
A. CÀLCULS.....	35
A.1. Càlcul de l'angle	35
A.2. Càlcul del radi de gir	36
A.3. Càlcul del paràmetre Alfa (α)	37

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

Un robot explorador té la finalitat de conèixer i explorar una zona on una persona tindria dificultats per accedir-hi o amb la possibilitat de posar en perill la seva vida.

Aquests robots han de poder moure's per l'exterior amb la dificultat que comporta trobar diferents terrenys i obstacles no previstos. Els robots exploradors poden estar controlats de forma remota o tenir intel·ligència artificial per ser capaços de prendre decisions autònomes.

1.2. Objecte

El grup de recerca ARLab de la UdG disposa d'un robot mòbil explorador, anomenat BigBot3, que porta integrat un sistema operatiu ROS, programat amb una sèrie d'algoritmes per detectar el tipus de terreny en el que es mou quan realitza trajectòries autònomes o és comandat amb un joystick. El robot mòbil disposa de quatre rodes no orientables, tipus Skid-Steer, per la qual cosa quan realitza girs les rodes derrapen i les lectures dels encoders no són fiables per calcular el gir realitzat, ja que l'encoder llegirà més polsos dels que hauria de rebre.

L'objectiu d'aquest treball final de grau és observar aquest problema i poder calibrar aquestes lectures dels encoders als diferents terrenys en que es mogui, per calcular correctament els angles de gir. Es contemplarà el càlcul d'un factor de correcció anomenat alfa (α), el radi de gir i l'angle recorregut pel robot, en funció de la velocitat angular i el tipus de terreny.

1.3. Abast

Aquest treball contemplarà les proves a realitzar a l'exterior en els diferents terrenys amb la utilització del sensor més idoni per la mesura del gir del robot, del tipus Laser Range Finder o càmera de visió, i la seva programació dins del sistema operatiu ROS.

Els terrenys estudiats són els següents: interior, ciment, asfalt i herba.

2. ROBOT BIGBOT3

Aquest robot és el que s'ha utilitzat per l'estudi d'aquest treball final de grau, és un robot mòbil terrestre del tipus Skid-Steer de quatre rodes, equipat amb sensors pel seu funcionament autònom.

El nom que rep aquest robot és BigBot3, és capaç de moure's de manera autònoma per diferents terrenys i detectar en quin tipus de superfície està, més endavant s'explicarà com detecta el tipus de terreny.

Aquest robot va equipat amb quatre motors per moure les rodes, una càmera tèrmica, un giroscopi, encoders i mòduls Wi-Fi.



Figura 1. Robot mòbil BigBot3.

2.1. Placa dsPIC

Aquest microcontrolador s'encarrega de gestionar els quatre motors del robot, realitzar lectures d'intensitat, nivell de bateria, encoders i aplicar el controlador PID. Hi ha la possibilitat d'aplicar el PID a dues rodes (esquerra i dreta) o a les quatre.

Per aquest projecte s'ha utilitzat el controlador PID per les quatre rodes, ja que serà la configuració predeterminada quan vagi autònom.

El microcontrolador envia i rep paquets de dades per poder comunicar-se amb les altres unitats de control.

2.2. Litestation

Aquest sistema embedded està basat en un enrutador que permet la connexió interna dels diferents sensors i actuadors del robot per Ethernet, i la comunicació externa amb un terminal, en aquest cas, un portàtil amb Labview.

Aquest dispositiu serà l'encarregat de comunicar-se amb un intermediari via Wi-Fi, i aquest, via Ethernet, enviarà els paquets de dades rebuts des de el microcontrolador dsPIC. Des de Labview, s'anirà enviant la consigna del PID perquè les velocitats segueixin estables.

2.3. Terminal incorporat

El robot BB3 porta un petit PC amb ROS per poder actuar de manera autònoma, aquest sistema també estava implementat abans de començar el present projecte.

2.4. Detecció de terrenys

El sistema de detecció de terrenys és l'última modificació que s'ha implementar en el robot BigBot3 i el seu funcionament és el següent: en tot moment el robot va revisant si el terreny ha canviat, això ho fa basant-se en els valors de les intensitats subministrades a les rodes, quan son valors extrems, pot haver-hi la possibilitat de que el terreny hagi canviat. Quan això passa, el robot duu a terme un test del terreny per saber en quin està.

Gràcies a l'estudi realitzat a l'últim projecte, se sap quins valors d'intensitat rebran les rodes en cada terreny, per tant, el procediment que es fa és el següent: les rodes de darrere es frenen un 20% i es realitza la lectura de les rodes davanteres en línia recta, depenent del valor d'intensitat que surti, el robot sabrà si està en un terreny o en un altre. Per la lectura d'intensitats en corba no cal frenar cap roda ja que les rodes interiors van a velocitat inferior.

2.5. Càlcul de "l'Alfa"

El sistema explicat a l'apartat anterior funciona perfectament, però l'estudi i càlcul de l'alfa complementarà les prestacions d'aquests robot.

La finalitat de trobar aquest factor de correcció anomenat "alfa" és perquè a la hora de calcular la odometria, el robot redueixi considerablement l'error. Es per això que es complementarà amb la implementació de l'anterior projecte, perquè depenent del terreny en el que el robot estigui, s'aplicarà un valor d'alfa o un altre.

L'alfa també servirà per crear un planificador de trajectòries, depenent del radi de gir real que es vulgui fer i en el terreny que s'estigui, la diferència de velocitats entre esquerra i dreta serà més alta o més baixa. Després de que el robot faci la tasca de planificar la trajectòria, com que ja sabrà quina diferència de velocitats hi haurà, es podrà aplicar l'alfa corresponent al gir i al terreny.

Per realitzar aquest assajos, s'ha triat el Hokuyo URG-04LX, un sensor de detecció de gir tipus Laser Range Finder.

2.6. Modificació pels assajos

La modificació que es durà a terme és purament per la fàcil detecció del robot durant el gir, així el sensor de gir apuntarà a una zona plana i d'una longitud coneguda, a més a més, tapparà les irregularitats del robot degut als sensors i mòduls que incorpora.



Figura 2. Robot BigBot3 amb la modificació pels assajos.

Com es veu a la figura 2, la fullola tapparà tot el que hi ha a la base del robot, aprofitant que el Hokuyo URG-04LX és un sensor de 2 dimensions, no caldrà tappar tot el costat, sinó que s'haurà d'elevat el sensor a una alçada concreta perquè els làsers apuntin aproximadament a la meitat de la fullola. Així doncs s'obtindrà un bon seguiment dels diferents girs del robot explorador.

Aquesta fullola anirà collada amb dos suports de 90 graus a la base metàl·lica del robot amb cargol i femella.

El robot en aquests assajos no anirà de forma autònoma, ja que s'hauran de fer girs a diferents velocitats. El control serà via una aplicació ja feta a Labview, dissenyada per fer aquests tipus de proves. Aquesta aplicació no s'explicarà a fons, ja que simplement s'utilitzarà per realitzar trajectòries amb el robot i recopilar les dades de la velocitat de les 4 rodes. Resumidament, quan s'obra l'aplicació, s'ha de triar el robot que s'ha de controlar, ja que cada un té assignada una IP, quan hi ha comunicació amb aquest, es podrà obrir un menú per posar la velocitat a la que aniran les quatre rodes i la possibilitat d'habilitar els PIDs. Després de fer aquests passos, ja es podrà posar en funcionament el robot BigBot3 per fer els assajos.

La idea d'aquests assajos serà descriure una trajectòria amb un angle de 90 graus sempre que sigui possible. Òbviament a menys velocitat, com que el radi de gir serà més gran, la dificultat perquè el Hokuyo capti una trajectòria de 90 graus serà més elevada, per tant, es tindrà més en compte la captació de dades de qualitat.

Durant la trajectòria s'anirà generant un fitxer txt que serà útil pel càlcul del desplaçament del robot, aquest desplaçament serà necessari per saber l'alfa i el radi de gir. D'aquest fitxer, compatible amb Excel, només s'agafarà la velocitat de les rodes i es multiplicarà pel temps de mostreig (50ms en aquest cas), així doncs es tindrà el desplaçament esquerra i dret del robot.

Time	Speed_FL	Speed_FR	Speed_RL	Speed_RR	Curr_FL	Curr_FR	Curr_RL	Curr_RR	Pos_X	Pos_Y	Pos_T	Battery	Vcc	Err_code	Sens_1
[s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[A]	[A]	[A]	[A]	[m]	[m]	[°]	[V]	[V]	[-]	[m]
2079453	0	0	0	0	-0.035	0.147	-0.065	0.141	4.54	-2.31	288	13.14	5.132	0	0
2079503	0	0	0	0	-0.036	0.147	-0.067	0.138	4.54	-2.31	288	13.12	5.13	0	0
2079553	0	0	0	0	-0.04	0.147	-0.069	0.142	4.54	-2.31	288	13.14	5.144	0	0
2079603	0	0	0	0	-0.037	0.148	-0.068	0.143	4.54	-2.31	288	13.14	5.14	0	0
2079653	0	0	0	0	-0.037	0.147	-0.068	0.14	4.54	-2.31	288	13.14	5.144	0	0
2079703	0	0	0	0	-0.041	0.148	-0.068	0.138	4.54	-2.31	288	13.14	5.146	0	0
2079753	0	0	0	0	-0.036	0.146	-0.069	0.134	4.54	-2.31	288	13.14	5.138	0	0
2079803	0	0	0	0	-0.035	0.146	-0.068	0.137	4.54	-2.31	288	13.12	5.13	0	0
2079853	0	0	0	0	-0.034	0.145	-0.065	0.14	4.54	-2.31	288	13.12	5.134	0	0
2079903	0	0	0	0	-0.041	0.145	-0.066	0.137	4.54	-2.31	288	13.14	5.14	0	0
2079953	0	0	0	0	-0.041	0.147	-0.071	0.138	4.54	-2.31	288	13.14	5.13	0	0
2080003	0	0	0	0	-0.034	0.148	-0.063	0.14	4.54	-2.31	288	13.14	5.142	0	0
2080053	0	0	0	0	-0.042	0.148	-0.063	0.135	4.54	-2.31	288	13.14	5.138	0	0
2080103	0	0	0	0	-0.04	0.151	-0.065	0.139	4.54	-2.31	288	13.12	5.138	0	0
2080153	0	0	0	0	-0.042	0.144	-0.072	0.141	4.54	-2.31	288	13.12	5.14	0	0
2080203	0	0	0	0	-0.042	0.149	-0.065	0.138	4.54	-2.31	288	13.14	5.146	0	0
2080253	0	0	0	0	-0.035	0.147	-0.07	0.138	4.54	-2.31	288	13.14	5.142	0	0
2080303	0	0	0	0	-0.044	0.148	-0.061	0.136	4.54	-2.31	288	13.16	5.16	0	0
2080353	0	0	0	0	-0.041	0.147	-0.063	0.137	4.54	-2.31	288	13.16	5.158	0	0
2080403	0	0	0	0	-0.04	0.147	-0.076	0.144	4.54	-2.31	288	13.14	5.146	0	0
2080453	0	0	0	0	-0.04	0.143	-0.064	0.134	4.54	-2.31	288	13.14	5.156	0	0

Figura 3. Excels amb les dades del moviment del robot en un assaig.

3. SENSOR DE DETECCIÓ DE GIR, HOKUYO URG-04LX

Un Laser Range Finder és un dispositiu que mesura la distància des de ell mateix fins un objectiu donat, aquesta mesura es realitza amb un feix de llum làser que ens ajudarà a determinar a quina distància està l'objectiu.

El funcionament del làser es basa en l'absorció i emissió d'energia que, a nivell atòmic, involucra electrons.

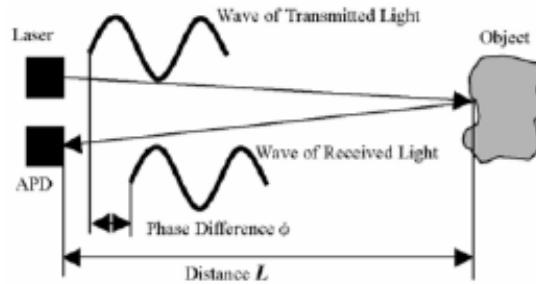


Figura 4. Esquema del funcionament d'un làser.

Tots els assajos realitzats en aquest projecte s'han fet amb el sensor URG-04LX de la casa Hokuyo.



Figura 5. Sensor Hokuyo URG-04LX.

3.1. Descripció del URG-04LX

El Hokuyo URG-04LX és un sensor làser dissenyat per l'escaneig d'àrees, aquest làser té una longitud d'ona de 785nm. L'àrea d'escaneig és un semicercle de 240° amb un radi màxim de 4 metres.

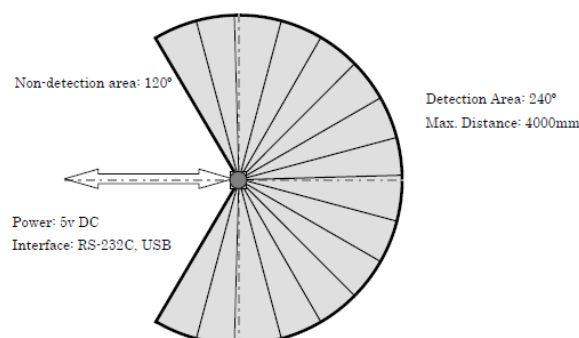


Figura 6. Àrea d'escaneig del Hokuyo URG-04LX.

Aquest sensor envia la distància mesurada a cada punt, durant tot el seu recorregut, envia 683 dades de distància, anomenats "steps". Cada step descriu un angle de $0,35139^\circ$ amb el següent step, si es fa el càlcul de multiplicar aquest angle pels 683 steps, es veurà com surten els 240 graus d'àrea d'escaneig. És capaç de realitzar un escaneig dels 683 steps cada 100ms, gràcies a un petit motor que porta incorporat.

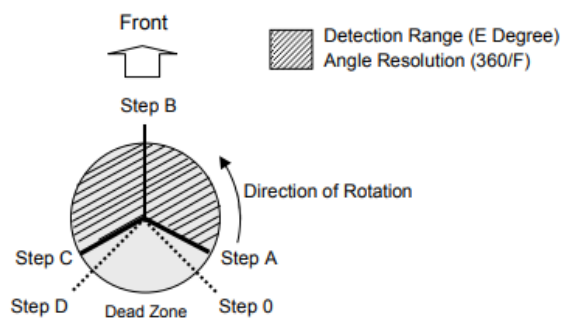


Figura 7. Esquema de l'escaneig del Hokuyo.

Com es pot apreciar a la figura 7, hi ha steps de referència durant l'escaneig. La direcció de la rotació del motor és antihorària i la zona de detecció està compresa entre l'step A i el C, la zona que queda fora d'aquest interval no forma part del rang de mesura.

El pas 0 és el primer punt de mesura, però el pas A (step 44) és el punt inicial del rang de detecció. El pas B és el que marca el centre del sensor, aquest pas és el 384. Per últim, el pas C és el 725, que marca el punt final del rang de detecció, i el pas D, que és l'últim punt de mesura. Resumidament, el rang de detecció va del pas A fins el C, un total de 683 steps.

Si es traça una horitzontal al punt mig, l'angle entre el pas A i aquesta, serà de 30 graus, per tant, entre aquesta step i la continuació de la vertical, hi haurà 60 graus, el mateix per l'altre costat, ja que és simètric. Els angles trobats serviran pel càlcul del gir descrit pel robot, a l'igual que els steps de referència ja donats.

Les especificacions tècniques d'aquest LRF són les següents: L'alimentació és de 5 volts de corrent continu, amb un consum de menys de 500 mA. Com s'ha dit abans, la detecció arriba fins als 4 metres, perquè a partir d'aquí, la lectura de la distància comença a tenir molt d'error, es pot arribar fins als 5 metres i mig, però no és recomanable perquè aquestes lectures no seran fiables. La resolució angular, arrodonint, és de 0,36 graus, i cada 100ms hi ha la possibilitat de fer un escaneig. Incorpora dues opcions d'interfície, RS232 i USB. Només té una resistència a la llum de 10000 luxs, per això no és un sensor preparat per utilitzar-se fora. Utilitza un sistema de comandes anomenat SCIP2.0, s'explicarà més endavant el funcionament d'aquest. Les dimensions del sensor es veuran a la següent figura.

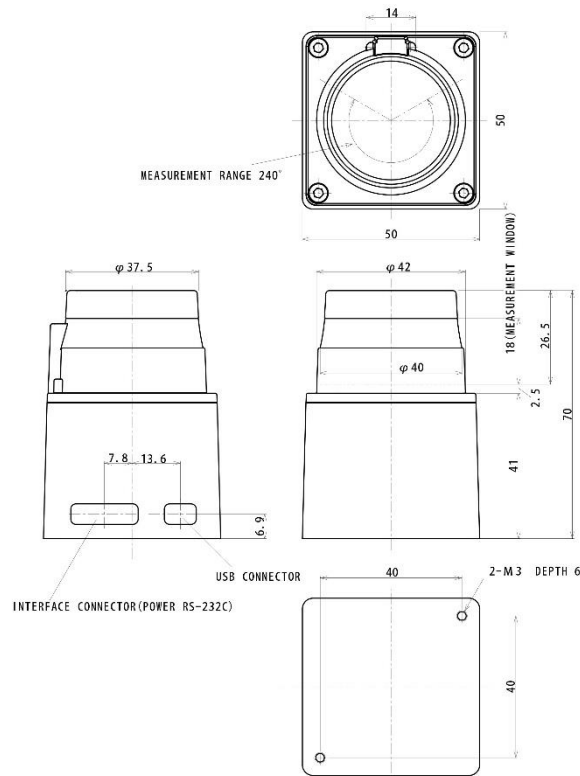


Figura 8. Mesures del Hokuyo URG-04LX.

L'estàndard SCIP 2.0 s'ha desenvolupat per un grup d'investigació d'interfícies per sensors, amb l'objectiu d'oferir una interfície flexible i simple per aplicacions de robòtica.

Les dades del sensor es codifiquen perquè la transmissió sigui més ràpida, es pot codificar en 2, 3 o 4 caràcters. Aquest mètode no s'ha utilitzat, així que es posaran uns exemples perquè s'entengui.

Per exemple, la codificació de 2 caràcters serà de 12 bits, separant els 6 bits alts i els 6 baixos, a més a més, s'afegeix un 30H per fer la conversió a ASCII.

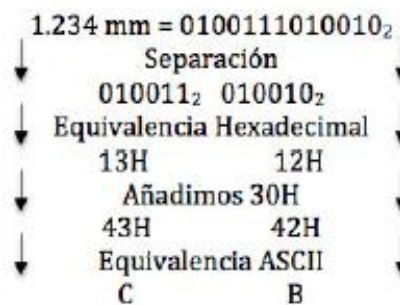


Figura 9. Codificació de 2 caràcters.

I la descodificació serà l'operació contrària.

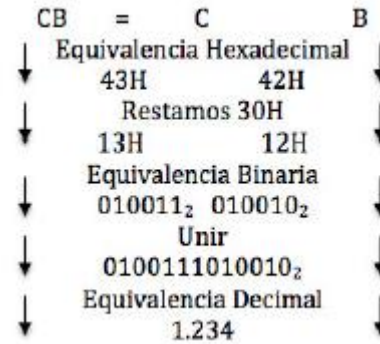


Figura 10. Descodificació de 2 caràcters.

I es faria d'igual manera per 3 i 4 caràcters.

El format de la comunicació entre sensor i host esta format per comandes prèviament definides. La comunicació és iniciada des de el host, enviant una comanda, el sensor respon quan rep aquesta comanda.

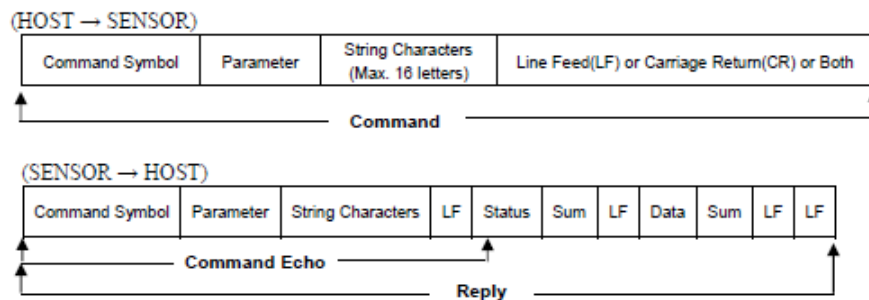


Figura 11. Comunicació entre sensor i host.

Hi ha diferents comandes predefinides en el format de la comunicació, per intercanviar dades entre sensor i host s'utilitzen aquestes comandes.

Les comandes MDMS s'encarreguen d'adquirir les dades dels escanejors del sensor, MD es per utilitzar la codificació de 3 caràcters i MS per 2. Per utilitzar correctament aquestes comandes, s'haurà de definir el primer i últim punt de detecció, l'interval entre escanejors i el nombre d'escanejors que es volen. També hi ha la possibilitat d'unir passos i que s'envii un sol valor d'aquests. Un exemple de comanda MD seria el següent: MD004407250020, d'aquí es pot saber que serà una codificació de 3 caràcters dels valors de l'step 44 al 725, amb un nombre de 20 escanejors.

Les comandes GDGS envien l'últim escaneig del sensor al host, aquesta comanda no és interessant per l'aplicació del present projecte, ja que es necessitaran molts escanejors seguits.

A més a més, el Hokuyo disposa d'altres comandes per variar funcionalitats, com ajustar el temps del sensor, el baud rate, velocitat del motor, etc.

3.2. Adquisició de dades

Les primeres proves que es van realitzar per establir comunicació amb el Hokuyo i veure el seu funcionament, van ser amb el sistema operatiu Linux Ubuntu i les comandes per cmd de ROS. Per realitzar aquestes proves, es van descarregar drivers i llibreries per poder executar el sensor via línia de comandes.

Quan es va aconseguir establir comunicació amb aquest amb comandes del sistema operatiu ROS, es va procedir a visualitzar les dades amb una aplicació anomenada RViz.

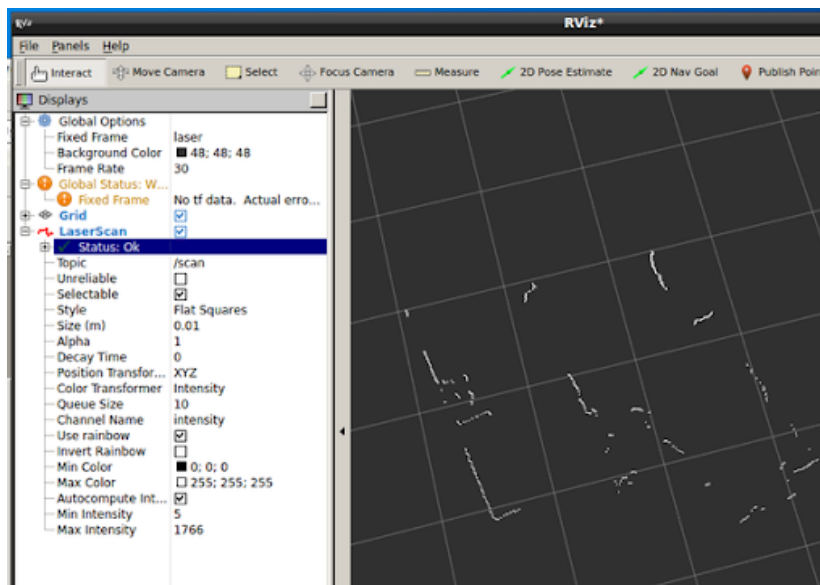


Figura 12. Aspecte de l'aplicació RViz, de Linux.

Aquesta aplicació no tenia més prestacions que la visualització, degut a això es va optar per un altre mètode, ja que la finalitat era adquirir les dades que el sensor de gir anava registrant en els escanejors. Tot haver investigat forces hores en el funcionament del ROS, del Hokuyo i les dificultats per la comunicació i visualització, es va optar per un programa de Windows anomenat UrgBenri, preparat per la visualització i adquisició de les dades del Hokuyo. En els dos casos, la interacció entre sensor i host s'ha fet via USB, el port RS232 s'ha utilitzat únicament per alimentar el Hokuyo.

L'aplicació UrgBenri dona la possibilitat d visualitzar, gravar i reproduir dades dels sensors URG de Hokuyo.

Perquè el programa funcioni correctament, s'han de descarregar uns drivers perquè l'ordinador reconegui el sensor i la connexió via USB sigui correcta.

En el present projecte s'ha utilitzat l'opció de gravar dades i guardar-les en un fitxer de format Excel (.csv) per tractar les dades posteriorment.

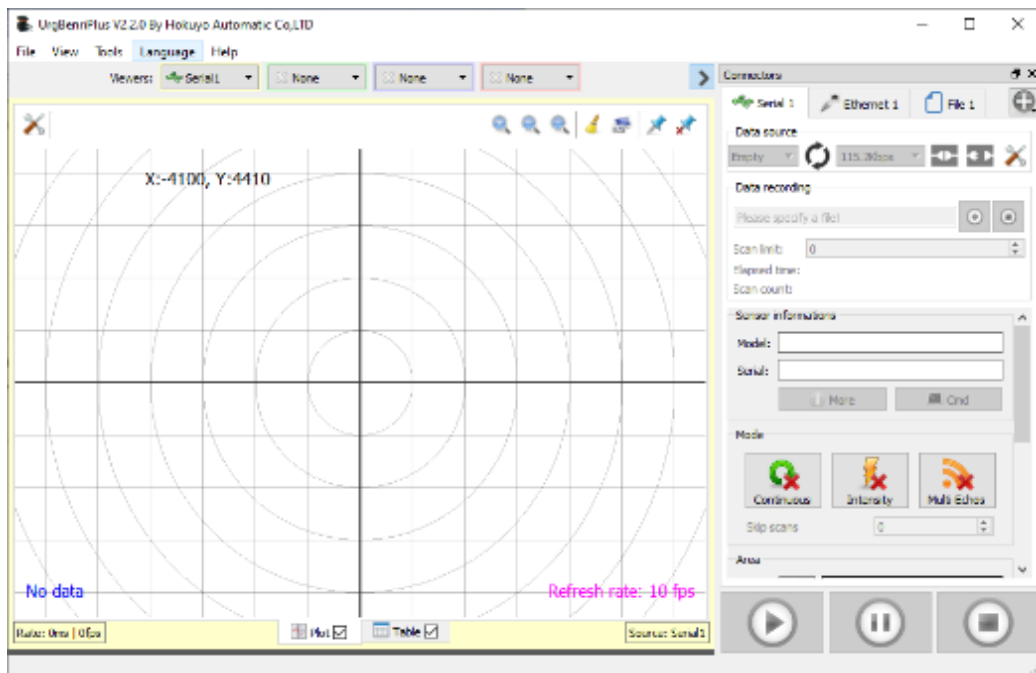


Figura 13. Interfície del programa UrgBenri.

Aquesta és l'aparença del programa UrgBenri, s'explicarà part per part totes les opcions que dona.

La visualització de les distàncies de cada step es pot veure pel gràfic que es representa a la figura 13, o en una taula on et marca quina distància retorna el làser per cada pas, tots els valors es van refrescant cada 100ms, que es el que tarda en fer un escaneig de la zona. La zona de detecció es pot modificar, essent de 44 a 725 steps els paràmetres per defecte. Per aquest estudi s'han deixat els valors per defecte que venien en el programa.

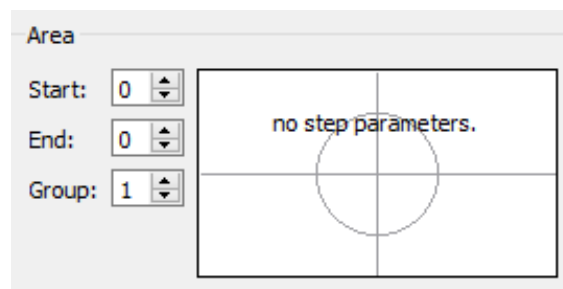


Figura 14. Àrea d'escaneig amb possibilitat de modificar.

Els valors d'inici no pot estar per sota de 44, ni el final per sobre de 725, tot i que hi hagi més steps disponibles, aquest és el rang de detecció del Hokuyo. La variable "Group" serveix per ajuntar steps contigus.

Per començar la visualització de les dades que envia el Hokuyo, el primer pas serà triar el COM corresponent on està el dispositiu, tocar el botó de connexió i esperar que sigui

satisfactòria. Sabrem si la connexió s'ha realitzat correctament pel simple fet de que es començaran a visualitzar tots els obstacles que veu el Hokuyo.

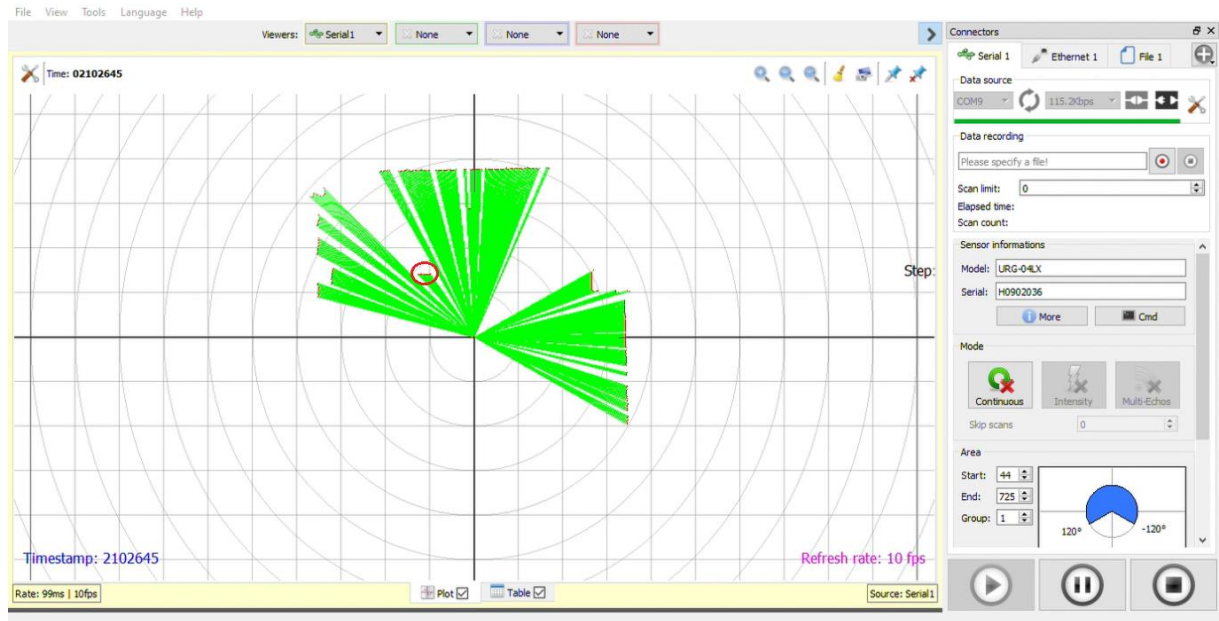


Figura 15. Visualització de les dades del Hokuyo al UrgBenri.

Aquesta es l'aparença que té el programa en execució, tots aquests feixos verds són steps on s'ha detectat un obstacle, cada quadrat del gràfic representa un metre a la realitat, tant horitzontal com vertical. Com es pot veure també, el propi programa reconeix el Hokuyo i el seu model, URG-04LX. Aquesta captura s'ha fet en un assaig a l'interior del laboratori de la Politècnica 4, el que està encerclat en vermell és la fullola del robot BigBot3, que es veu perfectament.

Una de les opcions que té aquest programa i no s'ha utilitzat és la CMD, incorpora una línia de comandes que permet parlar amb el sensor. A les primeres proves es va provar i es rebia les dades amb la codificació, com s'ha explicat a l'apartat anterior. Aquesta manera d'adquirir les dades es va acabar descartant perquè la quantitat de dades seria massa elevada i difícil d'analitzar, ja que s'ha de tenir en compte la presència de més obstacles, no només la fullola del BB3.

Per últim, després de realitzar força proves, es va decidir utilitzar la opció del "data recording" que proporciona UrgBenri.

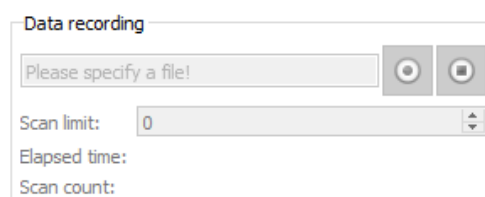


Figura 16. Opció per adquirir dades via fitxer.

Com es veu a la figura 16, per començar a gravar dades, s'haurà de pulsar al boto de "rec" (boto de l'esquerra), el programa demanarà un nom i una extensió per l'arxiu, en aquest cas s'utilitzarà l'extensió .csv, un fitxer per representar dades en forma de taula, on les columnes estaran separades per comes. Després d'això, l'aplicació començarà a gravar les dades que envia el sensor cap al host, fins que es premi el botó de stop. Per aquest estudi no s'ha limitat el nombre d'escanejors, ja que és una variable que dependrà de la velocitat angular i del terreny. Quan es separi el text per les comes, el format dels excels serà de la forma següent.

Timestamp	Distance0	Intensity0	Distance1	Intensity1	Distance2	Intensity2													
2113834	3983	0	0	0	0	0	3965	0	0	0	0	0	0	3965	0	0	0	0	3950
2113934	3977	0	0	0	0	0	3970	0	0	0	0	0	0	3951	0	0	0	0	3940
2114034	3978	0	0	0	0	0	3963	0	0	0	0	0	0	3948	0	0	0	0	3941
2114134	3978	0	0	0	0	0	3958	0	0	0	0	0	0	3954	0	0	0	0	3946
2114234	3983	0	0	0	0	0	3961	0	0	0	0	0	0	3953	0	0	0	0	3950
2114333	3980	0	0	0	0	0	3965	0	0	0	0	0	0	3959	0	0	0	0	3945
2114433	3975	0	0	0	0	0	3965	0	0	0	0	0	0	3953	0	0	0	0	3940
2114533	3975	0	0	0	0	0	3967	0	0	0	0	0	0	3957	0	0	0	0	3938
2114633	3977	0	0	0	0	0	3962	0	0	0	0	0	0	3950	0	0	0	0	3949
2114733	3980	0	0	0	0	0	3969	0	0	0	0	0	0	3944	0	0	0	0	3934
2114833	3978	0	0	0	0	0	3972	0	0	0	0	0	0	3950	0	0	0	0	3941
2114933	3986	0	0	0	0	0	3962	0	0	0	0	0	0	3956	0	0	0	0	3943
2115033	3972	0	0	0	0	0	3971	0	0	0	0	0	0	3951	0	0	0	0	3936
2115133	3979	0	0	0	0	0	3970	0	0	0	0	0	0	3954	0	0	0	0	3944
2115232	3977	0	0	0	0	0	3969	0	0	0	0	0	0	3958	0	0	0	0	3938
2115332	3977	0	0	0	0	0	3970	0	0	0	0	0	0	3958	0	0	0	0	3951
2115432	3982	0	0	0	0	0	3975	0	0	0	0	0	0	3961	0	0	0	0	3942
2115532	3978	0	0	0	0	0	3964	0	0	0	0	0	0	3953	0	0	0	0	3947
2115632	3979	0	0	0	0	0	3976	0	0	0	0	0	0	3958	0	0	0	0	3946
2115732	3972	0	0	0	0	0	3960	0	0	0	0	0	0	3959	0	0	0	0	3944
2115832	3972	0	0	0	0	0	3962	0	0	0	0	0	0	3960	0	0	0	0	3949
2115932	3968	0	0	0	0	0	3964	0	0	0	0	0	0	3946	0	0	0	0	3939
2116032	3976	0	0	0	0	0	3970	0	0	0	0	0	0	3953	0	0	0	0	3948
2116131	3989	0	0	0	0	0	3964	0	0	0	0	0	0	3959	0	0	0	0	3947
2116231	3978	0	0	0	0	0	3967	0	0	0	0	0	0	3954	0	0	0	0	3951
2116331	3981	0	0	0	0	0	3970	0	0	0	0	0	0	3949	0	0	0	0	3944
2116431	3981	0	0	0	0	0	3969	0	0	0	0	0	0	3953	0	0	0	0	3947
2116531	3981	0	0	0	0	0	3967	0	0	0	0	0	0	3959	0	0	0	0	3944

Figura 17. Excel amb les dades adquirides en un assaig.

Les dades que interessin per l'estudi són les de la columna "Distance0", és el valor de distància que dona el Hokuyo, es repeteix cada 5 columnes, ja que dona step per step. És a dir, la primera columna és el pas 44 i 5 columnes a la dreta, està el pas 45, i així successivament fins l'últim step. Com es pot veure també, el "Timestamp" es cada 100ms, el que dura un escaneig de tots els passos.

Després d'eliminar les columnes menyspreables, l'Excel quedarà preparat pels càlculs de l'alfa, radi de gir, etc.

Timestamp	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
2113834	3983	3965	3965	3950	3936	3918	3918	3918	0	0	0	3837	3829	3815	3803	3803	3794
2113934	3977	3970	3951	3940	3924	3913	3913	3913	0	0	0	3847	3830	3815	3810	3810	3783
2114034	3978	3963	3948	3941	3924	3912	3912	3912	0	0	0	0	3859	3835	3811	3811	3786
2114134	3978	3958	3954	3948	3925	3906	3906	3906	0	0	0	3843	3822	3816	3798	3798	3789
2114234	3983	3961	3953	3950	3922	3913	3913	3913	0	0	0	3847	3828	3820	3803	3803	3789
2114333	3980	3965	3959	3946	3924	3915	3915	3915	0	0	0	3836	3828	3819	3819	3819	3806
2114433	3975	3965	3953	3940	3923	3911	3911	3911	0	0	0	3838	3823	3820	3799	3799	3785
2114533	3975	3967	3957	3938	3930	3913	3913	3913	0	0	0	3836	3821	3818	3800	3800	3783
2114633	3977	3962	3950	3949	3926	3904	3904	3904	0	0	0	3838	3818	3817	3806	3806	3782
2114733	3980	3969	3944	3934	3921	3909	3909	3909	0	0	0	3843	3825	3819	3814	3814	3792
2114833	3978	3972	3950	3941	3926	3912	3912	3912	0	0	0	3850	3831	3817	3803	3803	3783
2114933	3986	3962	3956	3943	3925	3916	3916	3916	0	0	0	3843	3831	3816	3799	3799	3791
2115033	3972	3971	3951	3936	3935	3920	3920	3920	0	0	0	3845	3830	3812	3800	3800	3782
2115133	3979	3970	3954	3944	3926	3921	3921	3921	0	0	0	3848	3830	3819	3808	3808	3785
2115232	3977	3969	3958	3938	3923	3911	3911	3911	0	0	0	3838	3829	3825	3806	3806	3784
2115332	3977	3970	3958	3951	3931	3916	3916	3916	0	0	0	3840	3823	3822	3804	3804	3791
2115432	3982	3975	3961	3942	3934	3911	3911	3911	0	0	0	3849	3835	3824	3807	3807	3789
2115532	3978	3964	3953	3947	3921	3911	3911	3911	0	0	0	3846	3826	3814	3811	3811	3811
2115632	3979	3976	3958	3946	3924	3912	3912	3912	0	0	0	3843	3828	3819	3808	3808	3787
2115732	3972	3960	3959	3944	3934	3914	3914	3914	0	0	0	3843	3827	3820	3799	3799	3795
2115832	3972	3962	3960	3949	3934	3918	3918	3918	0	0	0	3835	3826	3816	3808	3808	3793
2115932	3968	3964	3946	3939	3921	3908	3908	3908	0	0	0	3841	3827	3822	3799	3799	3794
2116032	3976	3970	3953	3948	3928	3920	3920	3920	0	0	0	3846	3822	3819	3805	3805	3784
2116131	3989	3964	3959	3947	3932	3914	3914	3914	0	0	0	3844	3823	3815	3813	3813	3791
2116231	3978	3967	3954	3951	3932	3916	3916	3916	0	0	0	3842	3831	3819	3805	3805	3788

Figura 18. Excel amb les dades filtrades per l'estudi.

3.3. Condicionament del Hokuyo pels assajos

El sensor Hokuyo també rebrà una petita modificació pels assajos del present projecte, en aquest cas s'implementarà un suport per elevar l'alçada del dispositiu i collar-lo perquè tot sigui més còmode.

S'ha mesurat l'alçada òptima a la que hauria d'estar el sensor i s'ha optat per elevar-lo aproximadament uns 40 centímetres. Per fer això, s'ha utilitzat un tall d'aglomerat per fer de base més estable i se li ha collat un petit pilar de fusta que mesura aproximadament 40 centímetres. A la base superior, s'ha encastat un petit quadrat de xapa d'alumini amb el Hokuyo ben collat, així s'aconseguirà una base estable i fàcil d'encarar cap al robot.



Figura 19. Suport pel Hokuyo URG-04LX.

Posteriorment, se li va posar la placa encarregada d'alimentar-lo, ja que a l'interior si que hi ha endolls per donar-li corrent, però quan tocaven els assajos exteriors, es necessitava anar amb bateries. Aquestes bateries s'han agafat del laboratori, són de recanvi pel robot, al consumir poc, no són necessàries bateries molt carregades ni d'elevat amperatge. El funcionament de la placa serà rectificar els 14 volts que donen les bateries, per subministrar-ne 5V al Hokuyo. S'ha utilitzat un esquema de font commutada pel baix consum d'aquest muntatge.

4. ASSAJOS PER DETERMINAR “L’ALFA”

El càlcul de l’alfa és el punt més important d’aquest projecte, per tant, es farà una breu introducció de perquè es busca aquest factor de correcció. En odometria, s’estudia el gir que fa un robot en una determinada trajectòria, per poder saber aquest angle, es necessita calcular el desplaçament que ha fet el robot, aquí és on entren els encoders. Aquests sensors s’encarreguen d’enviar polsos en funció de les voltes que ha fet cada roda, si se sap la longitud de cada roda, se sabrà el desplaçament d’aquestes, multiplicant el nombre de voltes per la longitud de la roda. Quan se sap el valor del desplaçament de roda esquerra i dreta, es pot aplicar la fórmula següent per saber el desplaçament total.

$$\Delta_{\text{drobot}} = \frac{\sum \Delta_{dR} + \Delta_{dL}}{2} \quad (\text{Eq.1})$$

Amb aquesta dada per exemple, és possible calcular el radi de gir que ha descrit la trajectòria del robot. El càlcul que ens interessarà és el del gir, per tant, s’haurà d’aplicar la fórmula següent.

$$\theta = \frac{|\Delta_{dR} - \Delta_{dL}|}{B} \quad (\text{Eq.2})$$

Aquesta fórmula s’aplica per robots de dues rodes i no és possible utilitzar la mateixa per un robot Skid-Steer, ja que el robot patina i genera un error en la senyal que envien els encoders. És per això que se li aplica un paràmetre de correcció, el que s’ha anomenat Alfa.

$$\theta = \frac{|\Delta_{dR} - \Delta_{dL}|}{\alpha \cdot B} \quad (\text{Eq.3})$$

Aquí és on entra la funció que desenvoluparà el Hokuyo URG-04LX. Per l’aplicació d’aquesta fórmula es necessitarà una dada real i correcta del gir, el Hokuyo serà l’encarregat de captar aquest gir a diferents velocitats, i comparant amb les dades dels encoders, es calcularà el paràmetre Alfa de manera offline. Després de realitzar els càlculs de tots els assajos, el robot no necessitarà la implementació d’aquest sensor de gir, ja tindrà els valors d’alfa guardats, que seran diferents depenent del terreny.

En aquest capítol, s’explicarà la manera en la que s’han fet els assajos als diferents terrenys, és a dir, la disposició dels aparells, les vegades que s’han fet, com s’han fet, la comunicació entre robot i sensor i resultats finals. El passos a fer per calcular tots els paràmetres, s’explicarà a l’annex de càlculs.

Els terrenys on s’han fet els assajos són: l’interior del laboratori de P4, un terra de ciment ubicat a la facultat de dret, l’asfalt per on està l’aulari comú i l’herba de la politècnica.

4.1. Metodologia dels assajos

Els assajos tenien dos parts en execució sincronitzada, la recopilació de dades del Hokuyo amb el programa UrgBenri i el moviment del robot BigBot3, és per això, que s'ha necessitat l'ajuda del tutor, Albert Figueras, per realitzar aquests assajos.

El dispositiu Hokuyo s'ha controlat des del meu portàtil personal, via USB. Al realitzar les proves exteriors, s'han utilitzat les bateries disponibles al laboratori. Totes les dades s'han guardat en fitxers csv per posteriorment filtrar-les abans de realitzar els càlculs pertinents.

El robot BigBot3 s'ha controlat des d'un portàtil del grup de recerca ARLab. Aquest portàtil portava el programa de Labview per comunicar-se amb el robot i posar-lo en moviment. La Litestation incorporada al BigBot3 mantenia comunicació amb una caixa, que feia la funció de Router, aquesta caixa porta bateries i un mòdul de comunicacions, per les proves exteriors. Aquest estava connectat via Ethernet al portàtil d'ARLab, així doncs tenia la capacitat d'enviar dades i rebre-les. El portàtil s'ha encarregat d'enviar la consigna de velocitat a les rodes i la senyal d'inici-final del moviment. D'altra banda, el robot ha anat omplint la taula anteriorment ensenyada al capítol d'aquest, amb els valors de velocitat, intensitat, bateria, etc.



Figura 20. Connexió entre portàtil i robot

Com es veu a la figura 20, la caixa està connectada al portàtil amb un cable Ethernet, i té una antena per comunicar-se via Wi-Fi amb la Litestation del robot BigBot3.

Els assajos que s'han dut a terme per igual a tots els terrenys són els següents: s'han realitzat gir a la dreta de 90°, sempre que es pugui. Les velocitats que s'han empleat per esquerra i dreta, respectivament, són 40-20 (cm/s), 39-21, 38-22 i així successivament fins arribar a l'últim assaig de 30-30, que teòricament, el robot hauria d'anar recte. S'ha realitzat un assaig A i un B per corroborar o descartar dades. Si un assaig A varia molt de l'assaig B, es procedirà a repetir els 2 assajos per aquella velocitat i terreny, només es tindrà en compte el valor correcte, l'altre serà descartat.

4.2. Resultats a l'interior

El primer terreny a estudiar serà l'interior del laboratori del P4, és una zona on el terra no té molta fricció, però al haver-hi tants obstacles ha sigut complicat realitzar segons quins girs.

Com que en aquest laboratori hi havia electricitat, s'ha alimentat directament de corrent amb l'endoll que inclou el sensor de gir Hokuyo



Figura 21. Preparació per realitzar assajos a l'interior.

La disposició dels elements al terreny interior no s'ha fet com es mostra a la figura 21, és purament perquè es vegi com és el terreny en aquest cas. Les proves s'han realitzat en una part del laboratori on hi ha més espai per fer els girs i no xocar contínuament amb obstacles de l'aula.

Després de realitzar els girs per totes les velocitats angulars, s'han fet els càlculs per l'angle, el radi de gir i el factor de correcció Alfa, els resultats es veuran a la taula següent.

Velocitat L-R (cm/s)		Interior		
		α	R.gir (m)	$\theta(^{\circ})$
30-30	Assaig A	0,03	29,17	-8,90
	Assaig B	0,12	18,39	-13,69
31-29	Assaig A	1,89	13,19	21,92
	Assaig B	4,62	30,16	9,58
32-28	Assaig A	3,18	10,42	28,14
	Assaig B	2,30	7,66	37,96
33-27	Assaig A	2,08	4,70	59,74
	Assaig B	2,02	4,52	64,31
34-26	Assaig A	2,14	3,53	81,52
	Assaig B	2,11	3,45	85,96

Taula 1.1. Resultats finals a l'interior del laboratori.

Velocitat L-R (cm/s)		Interior		
		α	R.gir (m)	$\theta(^{\circ})$
35-25	Assaig A	2,13	2,76	85,02
	Assaig B	2,12	2,74	83,77
36-24	Assaig A	2,10	2,25	83,65
	Assaig B	2,32	2,52	77,42
37-23	Assaig A	2,10	1,94	87,41
	Assaig B	2,14	1,98	87,25
38-22	Assaig A	2,20	1,80	86,25
	Assaig B	2,12	1,73	86,62
39-21	Assaig A	2,10	1,53	87,69
	Assaig B	2,19	1,60	87,45
40-20	Assaig A	2,11	1,39	87,43
	Assaig B	2,40	1,56	82,78

Taula 1.2. Resultats finals a l'interior del laboratori.

Les cel·les que estan en color vermell no es tindran en compte per realitzar les gràfiques, són valors que tot i repetir els assajos, han sortit malament. La velocitat 30-30 es descartarà en tots els assajos degut a que els resultats que genera són irregulars i aporten cap interès al projecte, ja que el factor Alfa s'utilitzarà en els girs. Aquests resultats s'estudiaran més a fons amb l'ajuda de les gràfiques, però a simple vista es veu com a velocitats altes, l'angle descrit està a prop dels 90 graus i que va disminuint a velocitats baixes.

El mateix passa amb el radi de gir, quan la velocitat entre rodes és més igual, el radi tendeix a ser més llarg perquè l'arc que descriu és menys corbat.

S'ha descartat l'assaig B 31-29 degut a la diferència de les 3 variables, s'agafa l'assaig A com el correcte perquè té una certa correlació amb la següent velocitat (32-28 assaig B). El mateix passa amb l'assaig A 32-28, són dades molt diferents a l'altre assaig.

4.3. Resultats al ciment

El segon terreny on es faran els assajos serà el ciment al costat de la facultat de dret, és un quadrat força ample, així es tindrà un bon espai per realitzar els girs.

El problema en aquest assaig va ser el Sol, ja que el Hokuyo no funciona si els rajos de sol l'incideixen. Es va posar una capsa de manera que li donés ombra, sense interferir en el seu rang de detecció.



Figura 22. Preparació de l'assai al ciment.

Com es veu a la figura 22, el Hokuyo quedarà completament tapat del Sol. En aquest cas s'utilitzarà la placa d'alimentació amb les bateries, degut a que seran proves exteriors.

Després de realitzar els assajos, els resultats finals són els següents.

Velocitat L-R (cm/s)		Ciment		
		α	R.gir (m)	$\theta(^{\circ})$
30-30	Assaig A	26,37	2106,05	-0,10
	Assaig B	4,44	354,69	-0,61
31-29	Assaig A	1,51	10,56	21,71
	Assaig B	1,57	11,04	20,30
32-28	Assaig A	2,02	6,90	33,50
	Assaig B	1,98	6,86	33,74
33-27	Assaig A	1,92	4,32	58,35
	Assaig B	2,26	5,13	49,63
34-26	Assaig A	1,99	3,35	67,64
	Assaig B	2,15	3,57	65,57
35-25	Assaig A	2,14	2,82	80,37
	Assaig B	2,16	2,84	75,32
36-24	Assaig A	2,11	2,34	79,03
	Assaig B	2,11	2,34	76,96
37-23	Assaig A	2,15	2,06	77,19
	Assaig B	2,15	2,03	86,42
38-22	Assaig A	2,20	1,85	79,35
	Assaig B	2,30	1,92	78,96
39-21	Assaig A	2,23	1,67	87,05
	Assaig B	2,42	1,83	83,11
40-20	Assaig A	2,22	1,48	88,20
	Assaig B	2,41	1,63	86,03

Taula 2. Resultats finals al ciment.

En aquest terreny, els únics assajos a descartar seran els comuns per tots els terrenys, el de la velocitat 30-30, tots els altres han sortit correctament. Aquí també es pot veure que a velocitats angulars altes, l'angle és pràcticament 90, i després va disminuint.

El radi de gir va disminuint quan la diferència de velocitat entre rodes és més gran, per tant, aquests assajos han sigut satisfactoris també, no hi ha cap incongruència en aquestes dades.

S'ha de tenir en compte que en aquest terreny el robot generava un petit error, ja que després de fer la trajectòria, quan se li donava l'ordre de parar, la roda esquerra de darrera seguia rodant tot i que les altres 3 rodes ja estiguessin frenades. Pel càlcul del desplaçament no s'ha tingut en compte els últims valors de velocitat d'aquesta roda, ja que en realitat no ha avançat més, sinó pronunciar l'angle de gir descrit pel robot.

4.4. Resultats a l'asfalt

El penúltim terreny a provar serà l'asfalt, aquest terreny serà el més difícil pel robot, ja que li costarà molt avançar, l'asfalt genera molta fricció i això dificulta el moviment i més el gir. Un dels avantatges és que hi ha un gran espai per realitzar trajectòries, així doncs, els girs es poden allargar més que en altres terrenys.

La ubicació que s'ha triat és davant de l'Aulari Comú, ja que hi ha arbres a l'altre vorera que donen una ombra perfecte per col·locar allà el Hokuyo.



Figura 23. Preparació de l'assaig a l'asfalt.

Com es veu a la figura 23, el sensor queda perfectament tapat. En aquest cas també s'utilitzarà la placa d'alimentació perquè es segueix fent proves a l'exterior.

Al finalitzar els assajos i realitzar els càlculs pertinents, els valors obtinguts són els següents.

Velocitat L-R (cm/s)		Asfalt		
		α	R.gir (m)	$\theta(^{\circ})$
30-30	Assaig A	0,22	40,73	6,91
	Assaig B	0,14	39,92	6,46
31-29	Assaig A	2,10	11,19	19,00
	Assaig B	1,70	14,87	25,77
32-28	Assaig A	1,93	6,42	63,45
	Assaig B	1,88	6,27	65,10
33-27	Assaig A	2,67	5,84	60,98
	Assaig B	2,58	5,68	61,67
34-26	Assaig A	2,17	3,54	80,29
	Assaig B	2,00	3,33	82,03
35-25	Assaig A	2,07	2,71	78,95
	Assaig B	2,12	2,79	78,66
36-24	Assaig A	2,02	2,24	73,46
	Assaig B	2,10	2,28	75,77
37-23	Assaig A	2,23	2,12	81,21
	Assaig B	2,17	2,03	81,32
38-22	Assaig A	2,10	1,72	80,95
	Assaig B	2,12	1,75	88,28
39-21	Assaig A	2,20	1,60	78,71
	Assaig B	2,18	1,58	82,72
40-20	Assaig A	2,16	1,42	85,10
	Assaig B	2,22	1,46	86,54

Taula 3. Resultats finals a l'asfalt.

En aquest assaig s'ha descartat l'assaig A de la velocitat 31-29, ja que els 3 valors es desvien de la correlació amb els altres. A més a més del de la velocitat 30-30, com en tots els terrenys.

L'angle de gir del robot és més gran fins i tot disminuint la velocitat, però quan arriba l'assaig 31-29, la dificultat del gir ja és molt elevada i baixa considerablement el valor de l'angle.

Passa el mateix amb el radi de gir, es veu com canvia dràsticament de 32-28 a 31-29, degut a la fricció de la que s'ha parlat anteriorment.

4.5. Resultats a l'herba

L'últim assaig s'ha realitzat a l'herba davant de l'Edifici de la Politècnica, aquest terreny és el més irregular de tots i el que ha costat més captar amb bona qualitat el moviment del robot BigBot3. Per sort, el Hokuyo s'ha pogut col·locar a una ombra i treballar còmodament.



Figura 24. Preparació de l'assaig a l'herba.

De primeres, es va creure que al robot li costaria moure's considerablement i no s'aconseguiria realitzar les trajectòries de 90 graus, però els assajos han sigut més fàcils del que s'esperava.

Això sí, a les últimes proves (31-29 i 30-30) el sensor Hokuyo perdia la fullola del rang de detecció, segurament per culpa de les irregularitats del terreny. Es per això que en aquest cas, s'ha descartat directament realitzar les proves a la velocitat de 30-30, ja que era pràcticament impossible captar dades de qualitat. Com que aquest assaig no s'ha utilitzat en els altres terrenys per les gràfiques, aquí no hi haurà cap problema per descartar-lo, els gràfics es podran comparar amb les mateixes condicions.

La següent taula mostrarà els valors dels tres paràmetres per les diferents velocitats en el terreny d'herba.

Velocitat L-R (cm/s)		Herba		
		α	R.gir (m)	$\theta(^{\circ})$
30-30	Assaig A			
	Assaig B			
31-29	Assaig A	1,46	9,89	23,15
	Assaig B	1,57	10,04	23,86
32-28	Assaig A	2,25	7,22	53,64
	Assaig B	2,06	6,66	54,29
33-27	Assaig A	2,19	4,82	72,62
	Assaig B	2,08	4,55	83,85
34-26	Assaig A	2,68	4,39	63,30
	Assaig B	2,85	4,64	64,36
35-25	Assaig A	2,35	3,07	75,55
	Assaig B	2,41	3,12	76,06

Taula 4.1. Resultats finals a l'herba.

Velocitat L-R (cm/s)		Herba		
		α	R.gir (m)	$\theta(^{\circ})$
36-24	Assaig A	2,20	2,41	80,01
	Assaig B	2,38	2,59	73,65
37-23	Assaig A	2,23	2,13	76,70
	Assaig B	2,30	2,16	77,35
38-22	Assaig A	2,13	1,75	86,93
	Assaig B	2,05	1,71	86,37
39-21	Assaig A	1,98	1,47	89,24
	Assaig B	2,31	1,69	84,67
40-20	Assaig A	2,16	1,45	80,06
	Assaig B	2,43	1,61	83,16

Taula 4.2. Resultats finals a l'herba.

Com s'ha anat comentant en els diferents terrenys, les dades presentades tenen sentit i segueixen una correlació, en aquest cas però, els angles calculats a l'assaig de 33-27 no tenen sentit, segurament no s'ha acabat de captar correctament l'angle descrit pel robot, però si es mira el valor del radi de gir, és un valor lògic, ja que és més gran que la velocitat 34-26, es per això que s'ha decidit no descartar l'assaig A i B de la velocitat 33-27.

Tot i que el terreny ha sigut el pitjor per les irregularitats, alhora de fer els càlculs i comparar no s'han vist tant afectats per l'estat de l'herba, ja que han sortit resultats raonables.

4.6. Comparativa entre terrenys

En aquest apartat s'agafaran les dades finals recopilades a cada terreny per generar els dos gràfics, s'explicaran a fons ja que seran els que s'aplicaran al robot en un futur.

Aquesta comparativa tindrà en compte les dues modificacions a implementar en el BigBot3, la primera serà el planificador de trajectòries. La segona gràfica s'enfocarà a la correcció dels càlculs d'odometria, és a dir, el factor de correcció Alfa.

L'ordre d'actuació haurà de ser com es mostra a la figura següent.

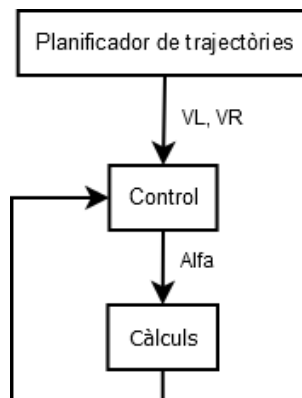


Figura 25. Esquema del procediment que durà a terme el robot.

El robot analitzarà un terreny on tindrà un punt inicial i un final, descriurà uns radis de gir per esquivar obstacles i arribar de la manera més òptima al punt final, depenent del terreny on estigui, el radi de gir es realitzarà a una velocitat o a una altra. Amb les consignes de velocitat es passarà al pas següent, el control del robot i l'inici del moviment. Paral·lelament es determinarà l'alfa per corregir els càlculs d'odometria, com per exemple l'angle de gir que va fent el robot en cada corba.

4.6.1. Gràfiques pel planificador de trajectòries

En el gràfic del planificador de trajectòries es compararà la velocitat que han de tenir les rodes esquerra i dreta en funció del radi de gir real que haurà de descriure el robot en un trajecte. Es mostraran les corbes dels 4 terrenys per poder realitzar comparacions, també els 2 assajos.

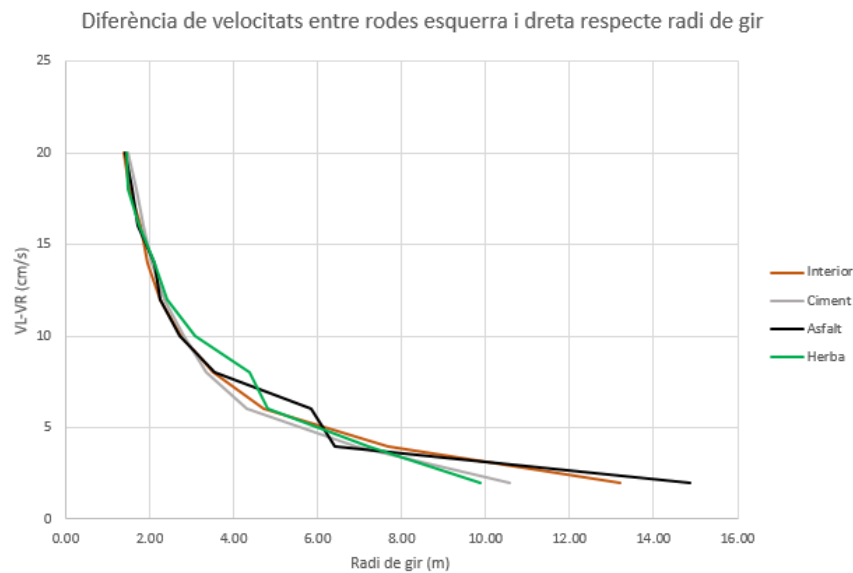


Figura 26. Gràfic del planificador de trajectòries, assaig A.

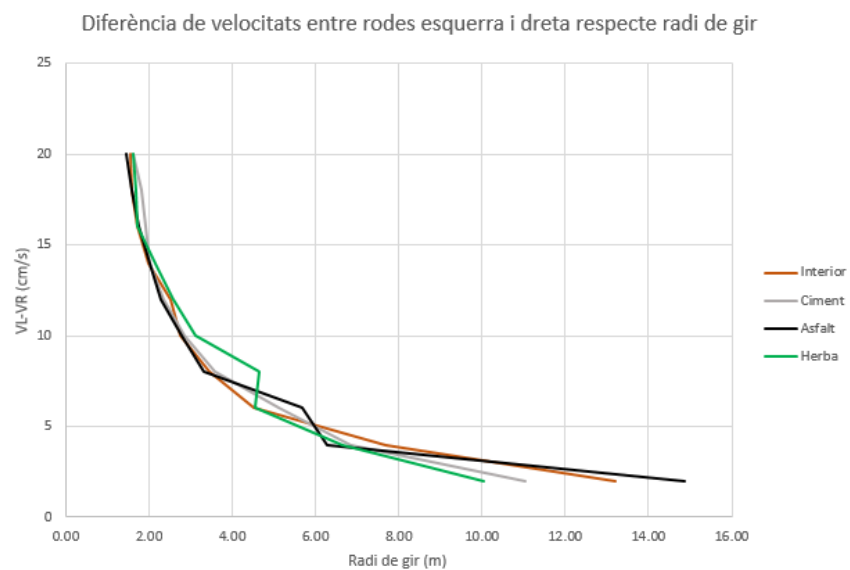


Figura 27. Gràfic del planificador de trajectòries, assaig B.

Cada un dels terrenys té un color diferent per poder diferenciar-lo entre ells, s'ha intentat que siguin colors semblants al terreny, per distingir-los ràpidament.

Com es pot observar, els dos gràfics tenen formes pràcticament iguals, això indica que els assajos són correctes.

Amb aquests gràfics es poden extreure les conclusions següents: en velocitats altes, la diferència del radi de gir és mínima, tot i que els terrenys siguin força diferents entre ells. Mentre aquesta diferència de velocitats va disminuint, les corbes dels terrenys es separen una mica unes de les altres, tot i així, els valors tampoc difereixen molt. La diferència més important està a les velocitats més baixes, es veu com en els terrenys d'interior i d'asfalt, el radi de gir és més gran que els altres degut a la fricció, per aquesta dificultat al fer la corba, el radi de la circumferència que descriu el robot és més gran. En els terrenys de ciment i herba, el gràfic ens indica que la dificultat de gir en velocitats baixes és més baix que amb els altres dos terrenys esmentats anteriorment. Aquestes deduccions queden confirmades perquè en els dos assajos es repeteix el mateix patró.

Per acabar de completar les deduccions, s'ha buscat una línia de tendència que representi la forma de les gràfiques. En el cas del planificador de trajectòries, la funció potencial encaixa perfectament amb la forma de les corbes. Gràcies a l'opció de l'Excel de traçar una línia de tendència, s'ha pogut extreure una equació per definir aquests gràfiques, segons el terreny. S'ha agafat l'equació amb el R^2 més elevat, ja que aquest paràmetre indica la relació entre variables, tots els valors de correlació estan per sobre de 0,96.

Les equacions que s'exposaran estan en funció de x i y , on x representa el radi de gir i la variable y , la diferència de velocitat entre les rodes a aplicar.

Per l'assaig a interiors, l'equació és la següent:

$$y=27,729x^{-0,994} \quad (\text{Eq.4})$$

L'estudi del assajos al ciment, han donat aquesta equació:

$$y=32,061x^{-1,140} \quad (\text{Eq.5})$$

L'equació resultant dels assajos a l'asfalt és la següent:

$$y=27,820x^{-0,982} \quad (\text{Eq.6})$$

Per últim, l'equació extreta dels assajos a l'herba, és la següent:

$$y=34,291x^{-1,143} \quad (\text{Eq.7})$$

Com ja s'ha vist als gràfics, el terreny interior i l'asfalt tenen una funció molt semblant, a l'igual que el ciment amb l'herba, tot i que aquests últims dos difereixen una mica més.

4.6.2. Gràfiques per la correcció dels càlculs d'odometria

En els pròxims gràfics, es compararà l'Alfa a aplicar, depenent del terreny i la velocitat de gir del robot.

Com s'ha explicat anteriorment, aquest factor de correcció ajudarà al correcte càlcul de l'angle descrit per les diferents trajectòries del robot BigBot3. Les velocitats aplicades vindran donades pel planificador de trajectòria.

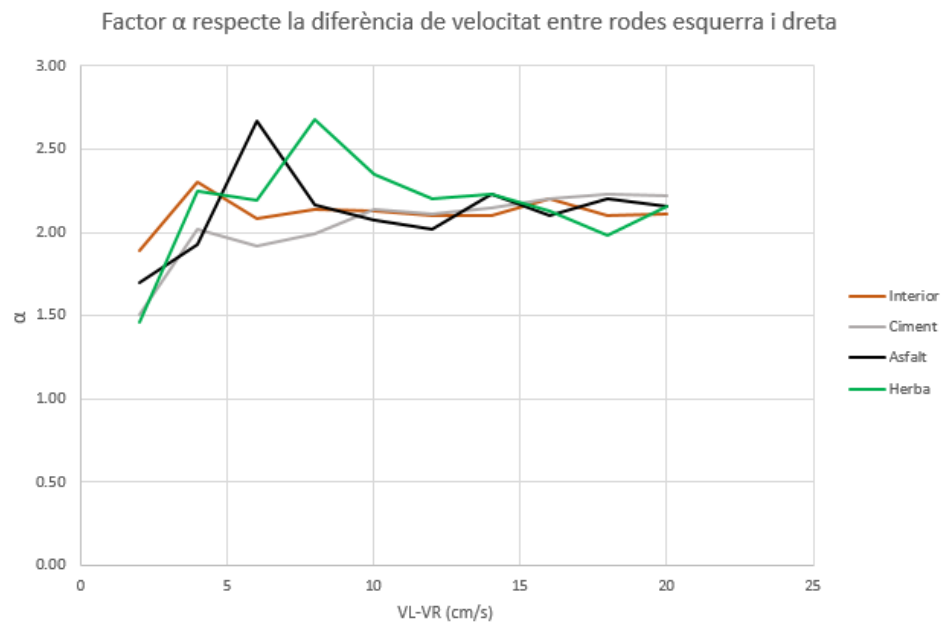


Figura 28. Gràfic del factor de correcció Alfa, assaig A.

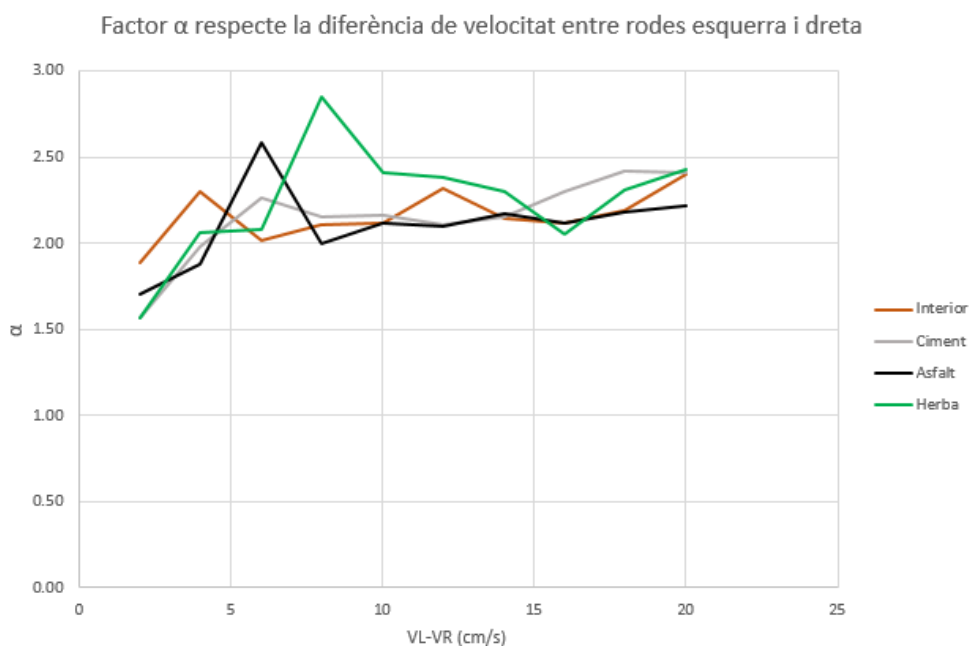


Figura 29. Gràfic del factor de correcció Alfa, assaig B.

En aquest cas, els dos assajos segueixen un patró semblant, per tant, es donaran per satisfactoris els resultats obtinguts.

La forma que descriuen les gràfiques és similar entre terrenys, quan la velocitat de gir és baixa, el valor d'Alfa és el més petit de tota la funció, però en el moment que canvia aquesta rotació, hi ha un moment on hi ha un màxim, és a dir, on l'Alfa agafa el valor més gran, per després a velocitat més altes anar estabilitzant el paràmetre i aconseguir ser constant. A l'assaig A és on es veu millor aquest comportament.

D'aquestes gràfiques s'esperava un resultat totalment diferent al que s'ha obtingut, les primeres hipòtesis abans de realitzar els càlculs finals, eren que el valor d'alfa variaria força quan la diferència de velocitats entre rodes fos més alta, ja que és el moment on el robot derraparà més i les lectures dels encoders i per tant, els càlculs d'odometria, tindran un error de càlcul més gran. Però com s'ha dit, va ser una de les primeres hipòtesis, i gràcies als càlculs realitzats, se sap que no és correcte, sinó tot al contrari.

Per tant, com a resum, es pot dir que el factor de correcció Alfa s'estabilitza quan arriba a velocitats de gir altes i que no s'aprecia molta variació en aquest factor entre els diferents terrenys. Abans d'aquesta estabilització, si que hi ha diferències notables, com per exemple l'Alfa entre el terreny d'herba i d'asfalt amb una diferència de velocitat entre rodes d'aproximadament 7,5 cm/s, en el terreny d'herba es pot veure com s'hauria d'aplicar una Alfa de més de 2,5, mentre que en asfalt, el valor rondaria el 2,0.

D'aquesta gràfica també es pot enllaçar la informació amb el planificador de trajectòries. Quan el radi de gir real que descriu el robot sigui entre 1 i 3 metres, l'Alfa a aplicar serà força constant i en un interval d'entre 2,0 a 2,3. Per radis gran serà totalment al contrari, tot i que l'Alfa no serà constant, contra més gran sigui el radi, més petita serà el factor de correcció.

5. RESUM DEL PRESSUPOST

El present projecte, format pels assajos realitzats a un robot explorador, els càlculs per trobar el factor de correcció i la comparació entre terrenys, ascendeix a la quantitat de dos mil dos-cents vint-i-cinc amb vuitanta-quatre cèntims, sense IVA.

6. CONCLUSIONS

Un cop realitzat el projecte, es pot concloure que l'estudi del paràmetre de correcció Alfa ha sigut satisfactori i es podrà aplicar en el robot BigBot3 pels correctes càlculs d'odometria.

S'ha pogut observar el problema dels càlculs i s'ha realitzat l'estudi pertinent per tant de corregir aquest problema, el pròxim pas serà l'aplicació dels resultats d'aquest projecte al robot BigBot3. Degut als problemes d'accessibilitat a la Universitat de Girona durant tots aquests mesos i al poc temps per realitzar assajos i càlculs, s'ha decidit deixar aquest projecte de manera teòrica, la única tasca que quedaria a realitzar, seria programar unes línies de codi perquè s'apliqui el planificador de trajectòries i el corrector dels càlculs odomètrics al robot.

Aquest projecte es volia enfocar solament al càlcul del paràmetre Alfa, però també s'ha dut a terme l'estudi del radi de gir per poder aplicar el planificador de trajectòries, amb equacions ja definides per cada tipus de terreny. Les gràfiques on es representava el factor de correcció Alfa, no descrivien una línia de tendència que s'assemblés a una de les funcions disponibles a Excel, per això s'ha descartat posar-les, però per l'aplicació al robot, s'haurà de fer una aproximació d'aquestes gràfiques.

Per últim, l'angle que descrivia el gir del robot no s'ha tingut en compte per cap de les gràfiques, ja que és un valor que només servia per calcular els dos paràmetres importants d'aquest estudi, el factor Alfa i el radi de gir. A més a més, també ha servit per mirar si els assajos eren correctes, ja que mentre la velocitat baixava, l'angle també ho havia de fer.

Aleix Carbonell Leal

Graduat en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Calonge, 29 d'agost de 2020

7. RELACIÓ DE DOCUMENTS

El projecte consta de cinc documents principals: el primer correspon a la memòria; el segon document, als plànols; el tercer és el plec de condicions; el quart correspon a l'estat d'amidaments i el cinquè, al pressupost.

8. BIBLIOGRAFIA

BOE. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (<https://www.boe.es/>, 17 d'agost de 2020)

GITHUB. Hokuyo URG-04LX. (<https://tuw-cpsg.github.io/tutorials/hokuyo-urg-04lx/>, 3 de març de 2020)

GITHUB. Ros-drivers/urg_node. (https://github.com/ros-drivers/urg_node, 6 de març de 2020)

HOKUYO AUT JP. Distance Data Output/URG-04LX. (<https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=165>, 20 d'agost de 2020)

RAIGADA LARA, ALEJANDRO. Evaluación experimental del dispositivo LRF HOKUYO URG-04LX-UG01. (http://oa.upm.es/38630/1/TFG_Alejandro_Lara_Raigada.pdf, 25 d'agost de 2020)

ROS. Hokuyo_node. (http://wiki.ros.org/hokuyo_node, 3 de març de 2020)

ROS. Ros Tutorials. (<http://wiki.ros.org/ROS/Tutorials>, 2 de març de 2020)

SOURCEFORGE. URG Network. (https://sourceforge.net/p/urgnetwork/wiki/top_en/, 15 de juliol)

SOURCEFORGE. UrgBenri. (<https://sourceforge.net/projects/urgbenri/>, 22 d'agost de 2020)

9. GLOSSARI

ASCII American Standard Code for Information Interchange

BB3 BigBot3

BOE Boletín Oficial del Estado

cm/s centímetres per segon

CMD Command prompt (Windows)

LRF Laser Range Finder

nm nanòmetres

PC Personal Computer

PID Controlador Proporcional, Integral i Derivatiu

ROS Robot Operating System

USB Universal Serial Bus

VL Velocitat de rodes esquerra

VR Velocitat de rodes dreta

Wi-Fi Wireless Fidelity

A. CÀLCULS

Els càlculs que s'han realitzat en aquest estudi són iguals tot i el canvi de velocitats i de terreny, òbviament amb petites variacions, per tant, es posarà un com a exemple ja que seria molt repetitiu explicar-los tots. S'anirà explicant pas per pas com s'ha arribat a cada paràmetre. S'ha optat per no posar taules dels Excels degut a l'extensió d'aquestes.

A.1. Càlcul de l'angle

El primer valor a calcular serà l'angle que ha descrit la trajectòria complerta del robot. Perquè sigui el més exacte a la realitat possible, s'ha decidit calcular la diferència entre l'angle que genera el vector a l'inici i el que té al final, així doncs, s'obtindrà un increment d'angle que representarà el gir realitzat pel robot.

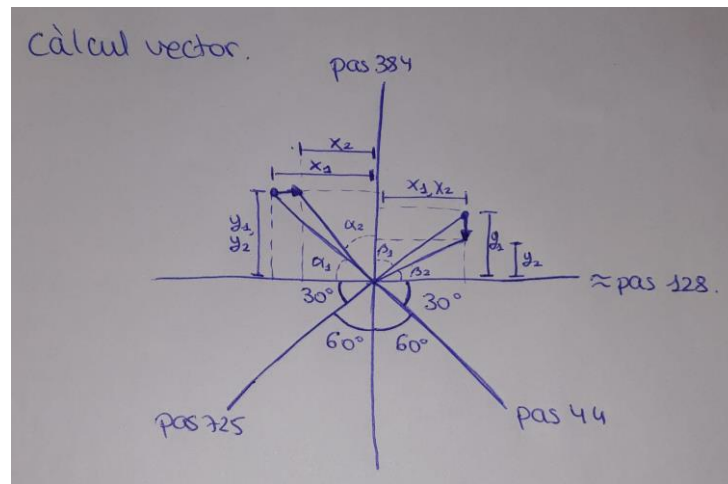


Figura 30. Mètode de càlcul del vector inici i final.

Aquest esquema de la figura 30, inclou els eixos de coordenades i els passos de referència del Hokuyo URG-04LX, que serviran per calcular alguns angles. Se sap que entre pas i pas hi ha una diferència de 0,36 graus, per tant, per saber l'angle que hi ha entre un pas i un altre, només cal aplicar la fórmula següent.

$$\text{Angle} = (\text{pas}_f - \text{pas}_i) \cdot 0,36 \quad (\text{Eq.8})$$

Un vector té una component x i una component y, amb aquests 2 valors es pot calcular l'angle que descriu amb una horitzontal imaginària, per tant, els càlculs que s'han realitzat tenen la finalitat de trobar els triangles adjacents al vector, que descriuen la component x i y del punt inicial i final d'aquest, com es mostra al dibuix de la figura 31. Els únics valors coneguts d'aquests triangles són les hipotenuses, ja que són distàncies mesurades amb el Hokuyo. Per aquests assajos, s'ha tingut en compte la distància a la que està el punt inicial i final de la

fullola i s'ha fet la mitjana dels valors quan aquests són estables, tant en l'inici del moviment, com en el final. Per tant, hi haurà 4 dades de distància conegudes.

7	3982	1714	1706	1699	1683	1671	1670	1669	1662	1661	1644	1642	1633	1628	1623	1615	1605	1603	1597
1726	1718	1714	1703	1694	1689	1685	1670	1662	1655	1652	1645	1639	1633	1627	1618	1616	1615	1610	1597
1715	1713	1703	1699	1695	1682	1680	1676	1670	1663	1654	1649	1635	1634	1621	1618	1613	1612	1602	1589
1725	1720	1709	1698	1692	1688	1678	1673	1667	1659	1653	1643	1643	1637	1628	1628	1618	1611	1611	1611
1722	1718	1709	1695	1694	1690	1680	1671	1670	1662	1649	1644	1641	1639	1639	1624	1616	1611	1611	1611
1722	1717	1710	1700	1698	1690	1682	1676	1667	1663	1650	1641	1636	1632	1628	1623	1615	1610	1610	1610
1722	1718	1710	1698	1693	1692	1687	1679	1667	1658	1654	1644	1642	1634	1631	1627	1616	1613	1613	1613
1719	1716	1711	1705	1698	1688	1685	1675	1664	1662	1649	1648	1637	1630	1629	1627	1614	1607	1607	1614
1720	1720	1709	1705	1691	1686	1685	1672	1671	1661	1658	1642	1634	1634	1629	1627	1611	1610	1610	1611
1718	1716	1708	1698	1698	1689	1685	1677	1672	1665	1654	1641	1635	1633	1631	1622	1621	1609	1609	1609
1722	1717	1707	1700	1699	1687	1686	1673	1669	1661	1651	1643	1639	1632	1631	1622	1616	1611	1611	1611
1722	1717	1714	1705	1702	1686	1682	1680	1667	1659	1654	1637	1637	1635	1630	1624	1621	1612	1612	1612
1729	1716	1714	1706	1702	1691	1689	1675	1669	1657	1653	1639	1639	1638	1636	1628	1615	1609	1609	1609
1720	1715	1712	1710	1705	1688	1680	1678	1674	1664	1652	1648	1646	1641	1638	1629	1621	1614	1614	1614
1723	1715	1713	1707	1706	1691	1683	1682	1674	1659	1656	1648	1644	1639	1628	1628	1627	1610	1610	1610
1723	1718	1714	1704	1702	1691	1688	1684	1669	1664	1658	1644	1638	1636	1635	1619	1617	1608	1608	1608
44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
1721.8667	1716.9333	1710.4667	1702.2	1697.9333	1688.5333	1683.6667	1676.0667	1668.8	1660.8	1653.1333	1643.7333	1639	1635.1333	1630.7333	1624.2667	1617.1333	1610.8	1609.8	1608.6

Figura 31. Dades exemple de les distàncies amb el moviment finalitzat.

Com es veu a l'exemple de la figura 31, es farà una mitjana dels passos que capten la fullola del robot, en aquest cas, el vector va del pas 63 al 44, per tant, aquests dos punts s'agafaran com a inici i final per calcular l'angle. I així mateix es farà amb el principi del moviment i amb tots els altres assajos, la qüestió serà anar repetint el mateix procediment, òbviament variant els passos del vector inici i final, les distàncies, angles, etc.

Quan es tinguin aquestes distàncies que descriuen el principi i final del vector, s'utilitzarà trigonometria per treure les components x i y.

$$\sin \beta = \frac{CO}{H} \quad (\text{Eq.9})$$

$$\cos \beta = \frac{CA}{H} \quad (\text{Eq.10})$$

On CO vol dir costat oposat, CA es refereix al costat adjacent i H a la hipotenusa.

Per últim, després de calcular el valor en x i y del vector, només caldrà aplicar la tangent per saber quin angle descriu amb la horitzontal.

$$\tan \beta = \frac{CO}{CA} \quad (\text{Eq.11})$$

Al calcular l'arctangent del vector inicial i final, només caldrà restar els dos angles per saber l'increment i per tant, quin angle ha realitzat el robot en una trajectòria determinada.

A.2. Càlcul del radi de gir

Pel càlcul del radi de gir, no hi ha tantes incògnites a calcular, ja que només depèn d'una variable, la longitud de la circumferència.

$$L = 2\pi r \quad (\text{Eq.12})$$

Aquesta longitud es pot saber, degut a que durant el moviment, el robot va enviant les dades dels encoders, que es van guardant en un fitxer txt amb altres dades. Se sap que el temps de mostreig és de 50ms, i com en el fitxer les dades venen directament en centímetres per segon, només cal multiplicar aquesta velocitat pel temps de mostreig, per saber quants centímetres ha recorregut aquella roda entre cada mostreig.

Pèl càlcul del desplaçament de les rodes esquerra i dreta, s'ha fet una mitjana de la velocitat de cada parell, per així fer-ho més exacte. El càlcul de la distància recorreguda comença quan les rodes estan a 0 i comencen a moure's fins que es paren completament. Finalment, només queda fer un sumatori de la distància recorreguda per les rodes de l'esquerra i per les de la dreta. Quan es tingui aquest valor, s'utilitzarà l'equació 1, ja exposada.

Dades robot assaig A (40-20 interior)			Desplaçament total assaig A (m)	
Temps(s)	Distància rodes esquerra (cm)	Distància rodes dreta (cm)	2.119	
0	0	0		
0.05	0.025	0	V1x = 292.4397429	
0.1	0.4	0.075	V1y = 8.894896076	
0.15	0.675	0.375	V2x = 4.127522219	
0.2	1.075	0.65	V2y = 285.6382084	
0.25	1.375	0.85	Angle V1 = 1.742180878	
0.3	1.55	1	Angle V2 = 89.17212355	
0.35	1.775	1.1	Angle V = 87.42994268	
0.4	1.9	1.2	Factor α amb l'angle mesurat pel Hokuyo (A)	
0.45	2.05	1.225	2.1115	
0.5	2.025	1.175		
0.55	2.025	1.15	<i>Pel càlcul del radi de gir, s'utilitzarà la longitud de l'arc.</i>	
0.6	2.075	1.125	1.388652198 m	
0.65	2.025	1.1		
0.7	2	1.025		
0.75	2.025	1.025		
0.8	2.025	1.025		
0.85	2	0.975		
0.9	2	1		
0.95	1.975	0.975		

Figura 32. Exemple dels càlculs fets als Excels.

Com es veu en aquesta figura, hi ha una taula encarregada de fer el sumatori de les distàncies recorregudes, i a dalt a la dreta, una petita taula amb el desplaçament final del robot. En aquest exemple també es pot veure el càlcul de l'angle, del paràmetre Alfa i del radi de gir.

Aquests càlculs s'han realitzat per les 10 proves de velocitats, amb 2 assajos per cada una i per cada terreny, tots de la mateixa manera.

A.3. Càlcul del paràmetre Alfa (α)

Pel càlcul del paràmetre Alfa només cal aplicar l'equació 3, ja que contempla aquesta variable.

On l'angle a introduir serà el que s'ha calculat gràcies al Hokuyo. La variable B té un valor de 0,43 centímetres.