ÍNDEX

1. Introducció 9
1.1. Robòtica agrícola 9
1.1.1. Robòtica 9
1.1.2. Aplicacions de la robòtica en l'agricultura 16
1.1.3 Navegació autònoma en l'agricultura 25
1.2. Sistema GPS 30
1.2.1. Característiques del GPS i aplicació en l'agricultura 30
1.2.2. Sistema de coordenades universal transversal de mercator (UTM) 33
1.3. Sensors- sistemes de percepció local 39
1.3.1. Sensors làsers, LIDAR 39
1.3.2. Càmeres monoculars 44
1.3.3.Càmeres multiespectrals 45
1.3.4. Visió estereoscòpica 46
1.3.5. Càmeres 3D 47
1.3.6. Ultrasons 47
2. Antecedents 49
3.Objectius 52
4. Eines utilitzades 53
4.1.Eines Software 53
4.1.1. LabVIEW 53
4.2.Eines Hardware 57
4.1.1. GPS utilitzat 57
4.1.2. LIDAR utilitzat 59
5. Disseny dels algoritmes de navegació 61
5.1. Descripció general dels algoritmes 61
5.1.1. Variables comunes als dos algoritmes 62

5.2. Algoritme 1 71

5.3. Algoritme 2 84

6. Avaluació experimental 97

6.1. Descripció dels assajos realitzats 97

6.2. Resultats experimentals 108

7. Conclusions 116

Bibliografia 118

ÍNDEX FIGURES

Figura 1.Relació causa-efecte en la interacció mecanisme-medi ambient 10
Figura 2.Descripció dels elements semblants entre l'esser humà i els robots. 11
Figura 3. Elements d'un robot 11
Figura 4. Descripció del mecanisme i descripció de les semblances amb l'esser humà. 11
Figura 5. Moviment lineal i moviment angular 12
Figura 6. Dispositius d'entrada i sortida de dades 13
Figura 7. Mars Explorer 14
Figura 8. Robot amb rodes 14
Figura 9. Robot amb cames 14
Figura 10. Robot que realitza tasques en un banc de treball 14
Figura 11. Robot autònom amb un ordinador portàtil 15
Figura 12. Robot capacitat per fer feines complicades 15
Figura 13. Robot industrial Puma 15
Figura 14. Robot ASIMO 16
Figura 15. Microrobot amb rodes tipus tanc, Sanddragon 16
Figura 16. Màquina trasplantadora d'hortalisses 18
Figura 17. Màquina trasplantador d'arròs 18
Figura 18. Màquina recol·lectora de taronges 19
Figura 19. Màquina recol·lectora de pomes 19
Figura 20. Màquina recol·lectora de cogombres 19
Figura 21. Màquina recol·lectora de xampinyons 20
Figura 22. Vehicles de camp innovadors: (a) plataforma útil; (b) helicòpter vaporitzador; (c) robot explorador (cortesia de YoshisadaNagasaka)(Rovira et al., 2010) 21
Figura 23. Robot per al tractament d'hortalisses (SilsoeResearchInstitute) 22
Figura 24. Robot per arrencar males herbes en camps de remolatxa orgàniques 22
Figura 25. Robot mòbil en hivernacles AURORA 23
Figura 26. Robot mòbil en hivernaclesFitorobot 23
Figura 27. Plataforma Goliat 24
Figura 28. Diagrama que representa l'arquitectura de navegació autònoma 26
Figura 29.Arquitectura general d'un vehicle intel·ligent (Rovira et al., 2010) 26
Figura 30. Mapa termogràfic(a) d'un escenari agrícola (b) utilitzat per analitzar el contingut d'aigua del sòl. 28
Figura 31. Receptor GPS típics en aplicacions agrícoles. (Rovira et al., 2010) 31
Figura 32.Assistència de direcció basat en GPS (a) Sistema de barra de llums, (b) la pantalla GUI. (Rovira et al., 2010) 32
Figura33. Imatge de la divisió del món en coordenades UTM 33
Figura 34. Exemple de la distribució de les coordenades 34
Figura 35. Exemple de distribució de cada quadrat de les coordenades UTM 35
Figura 36. Exemple de coordenades UTM 36
Figura 37.Espanya pertany a diferents quadrícules 36
Figura 38. Exemple d'anàlisi de cada quadrat en coordenades. 37
Figura 39. Posició de les coordenades respecte l'eix de coordenades 37

Figura 40. Sistema LIDAR situat en un vinyer (esquerra) i un camp de pereres (dreta) mostrant les coordenades polars (distància r i angle Θ) i les coordenades cartesians (x,y,x) del sistema de referència. (Rosell et al., 2008) 40
Figura 41. Sensor FX6 LIDAR muntat en un trípode 42
Figura 42. La imatge(a) mostra una fila de panís artificial feta de paper. La imatge de profunditat (b) i la imatge d'intensitat de reflectància (c) mostren la mateixa vista però usant el sensor FX6 LIDAR. El núvol de punts (d) correspon a (a),(b) i (c). (Segerbald et al., 2012) 42
Figura 43 En la imatge (a) s'observa un robot de proba sobre un camp de panís rastrejant les plantes amb el sensors 3D FX6 LIDAR. La imatge (b) mostra un núvol de punts d'una fila de panís artificial, tot construït utilitzant un làser escàner. Els punts detectats com a terra són de color marró, els punts pertanyents a les plantes estan de color verd, les plantes de panís descobertes estan marcades usant cilindres púrpura. (Weiss & Biber, 2011) 43
Figura 44. Localitzacions de la càmera en un tractor: (a) Part davantera de la cabina; (b) Damunt de la cabina; (c) capçal de la recol·lectora 45
Figura 45. (a) càmera multiespectral; (b) imatge R-G-B; (c) imatge R-G-IR. (Segerbald et al., 2012) . 46
Figura 46. Exemple trigonometria utilitzada per a detectar objectes amb la càmera de visió estèreo. (Segerbald et al., 2012) 46
Figura 47. Efecte crosstalk, el sensor "a" emet un pols i el sensor "b" el rep (Gilaberte, 2003) 48
Figura 48.Sensor ultrasònic (a) utilitzat per un sistema d'alarma de seguretat d'un vehicle agrícola (b).(Wei et al., 2005) 48
Figura 49.Moto-reductor instal·lat. MXE 86 100S 4 50
Figura 50.Plataforma amb el grup moto-reductor i ventiladors 50
Figura 51Encoder instal·lat. RI 58-D de Hengstler 50
Figura 52 Botonera actual 50
Figura 53. Exemple panell frontal (esquerra) i paleta de comandes (dreta) 54
Figura 54. Exemple diagrama de blocs (esquerra) i paleta de funcions (dreta) 54
Figura 55. Pantalla principal de configuració 56
Figura 56. Pantalla de control i supervisió. 56
Figura 57. GPS RTK centimètric Leica 57
Figura 58. Lidar URG-04LX 59
Figura 59. Simbologia de la plataforma. 61
Figura 60. LED i variable indicadors de què l'usuari inicia la navegació 62
Figura 61. Configuració de comunicacions 62
Figura 62. Marges de distància que defineixen la velocitat de desplaçament de la plataforma 63
Figura 63. Representació dels marges de distància per definir les velocitats. 63
Figura 64. Valors de freqüència de moviment de la plataforma 64
Figura 65. Determinació de les variables en el panell de control 64
Figura 66. Bucle GPS 65
Figura 67. Codi de la part del GPS per l'algoritme 1. 66
Figura 68. Codi de la part del GPS per l'algoritme 2 67
Figura 69. Seqüència de moviment i variable "Estat" 67
Figura 70. Visualització de les variables des del Panell Frontal de l'algoritme 1. 69
Figura 71. Visualització de les variables des del Panell Frontal de l'algoritme 2. 70
Figura 72.Càlcul de comprovació de la plataforma i primer desplaçament. 71

Figura 73. Diagrama de simulació del primer desplaçament de la plataforma. 72
Figura 74. Diagrama on s'observen els punts, inicial, final i actual i totes les seves components. 73
Figura 75. Diagrama on s'observa la plataforma encarada cap al costat oposat del punt final i és mostra la distància (d) que ha de recórrer, des de el punt actual. 73
Figura 76. Diagrama on es mostren les variables Alfa i Beta.Figura 77. Representació del càlcul realitzat quan la plataforma es troba en el quadrant . En el quadrant 2 seria el mateix cas. 74
Figura 78. Diagramaon es mostra el rang que crea la variable MargeDifParalel. 75
Figura 79. Representació de tots els càlculs al LabVIEW. 76
Figura 80. Comprovació de les variables Vdx i Vax amb el case True. 77
Figura 81. Comprovació de les variables Vdx i Vax amb el case Flase. 77
Figura 82. Comprovació de les variables Vdy i Vay amb el case True 78
Figura 83. Comprovació de les variables Vdy i Vay amb el case False 78
Figura 84. Comprovació de si els vectors són paral·lels i esta dins la distancia marge. 79
Figura 85. Comprovació si els vectors són paral·lels i esta dins la distancia marge i comprovació de la distancia al punt final. 79
Figura 86. Figura en que la plataforma i el punt final són paral·lels/proporcionals.. 80
Figura 87. Comprovació dels angles alfa i beta 81
Figura 88. Cas en que beta és més gran que alfa. 81
Figura 89. Comprovació Cas en que beta és més petit que alfa. 81
Figura 90. Cas true, es dona l'ordre d'anar a l'esquerra. 82
Figura 91. Figura en que Vdy es false i Vay es true. 82
Figura 92. Càlcul de la distància inicial i primer desplaçament 85
Figura 93. Representació de la distància inicial i 85
Figura 94. Càlcul de distàncies, amb les entrades i sortides necessàries per a fer els càlculs 86
Figura 95. Representació de les variables calculades 87
Figura 96. Representació dels marges de distància i d'orientació 88
Figura 97. Representació de l'angle g de 0° a 360°. 89
Figura 98. Càlcul de l'angle d'orientació, amb les variables d'entrada i sortida necessàries 89
Figura 99. Càlcul del angle en el cas en què el gir serà en sentit horari 89
Figura 100. Representació de l'angle g 90
Figura 101. Càlculs de distàncies i comparacions entre valors 91
Figura 102. Representació dels tres rangs d'angles 92
Figura 103. Bucle amb els càlculs i comparacions per a fer cada moviment 93
Figura 104. Seqüència de moviments 95
Figura 105. Representació amb la plataforma orientada cap al punt final 96
Figura 106.Carro simulador de la plataforma amb GPS incorporat 97
Figura 107.Simulació dels moviments que ha de fer la plataforma amb el carro. 98
Figura 108. Rectificador GPS instal·lat a la teulada de l'edifici 4 de l'ETSEA 99
Figura 109. Intent de la posta en marxa. 100
Figura 110. Plataforma utilitzada 101
Figura 111. Plataforma utilitzada amb l'algoritme 2 102
Figura 112. Plataforma utilitzada amb l'algoritme 2 105
Figura 113. Canvis en l'angle d'orientació 106

Figura 114. Diagrama amb la variable MargeAngle que es calcula a partir de la variable introduïda per l'usuari difParal·lel. 107
Figura 115. Representació del cas 1. 108
Figura 116. Representació del cas 2. 109
Figura 117. Representació del cas 3. 113
Figura 118. Representació del cas 4, plataforma girada 180^0 114

ÍNDEX EQUACIONS

Equació 1. Càlcul realitzat per al primer desplaçament....71
Equació2.Càlcul de Vdx. 72
Equació3.Càlcul de Vdy. 72
Equació4.Càlcul de Vax. 72
Equació5.Càlcul de Vay. 72
Equació 6. Càlcul del mòdul de Vdir.....72
Equació 7. Càlcul del mòdul de Va. 73
Equació 8.Càlcul de la distància que ha de recórrer. 73
Equació 9.Càlcul de l'angle beta....74
Equació 10.Càlcul de l'angle alfa.....74
Equació 11.Càlcul de la diferència de distància en les coordenades X. 75
Equació 12.Càlcul de la diferència de distància en les coordenades Y. 75
Equació 13.Cálcul de la diferència de proporcionalitat. 75
Equació 14. Càlcul de la distància inicial 84
Equació 15.Distància inicial dintre dels marges de distància....84
Equació 16.Càlcul de la direcció d'orientació, entre els punts anterior i actual....86
Equació 17.Càlcul de la distància respecte el punt final 86
Equació 18. Comprovació de la posició del punt final respecte la recta d'orientació 86
Equació 19.Càlcul angle d'orientació 88
Equació 20. Orientació, en graus 88
Equació 21.Angle d'orientació en el cas en què el gir és en sentit horari 89

ÍNDEX GRÀFIQUES

Gràfica 1. Cas 1, plataforma encarada en la línia d'unió del punt inicial amb el punt final....109
Gràfica 2. Situació de la plataforma en el cas2 de l'algoritme 1.....110
Gràfica 3. Situació de la plataforma en el cas2 de l'algoritme 2.....111
Gràfica 4. Cas 3....113
Gràfica 5. Cas 4 amb l'algoritme 2. 115

AGRAÏMENTS

A l'Eduard Gregorio, tutor del treball de fi de grau. Per les hores de reflexió presencials i virtuals, per fer-nos costat en tot moment, per la seva implicació i per creure en el projecte.

A l'Àlex Escolà, tutor del treball de fi de grau. Per la gran dedicació de moltes tardes a ple sol. Per totes les recomanacions i modificacions per a poder realitzar un treball millor.

Al Joan Ramon Rosell, per donar-nos suport en tot moment i servir-nos de gran ajuda en les proves de camp.

Als familiars, pel recolzament i estima inqüestionable durant tot aquest temps.

També agrair l'ajuda, el recolzament i els consells del companys de feina que s'han mostrat molt sensibilitzats amb nosaltres.

I com no, cadascuna de nosaltres a la seva parella de treball. Per tots aquests anys juntes, totes les hores dedicades i el suport en els moments crítics.

Gràcies al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) i al Ministerio de Ciencia e Innovación, ja que aquest Treball Final de Grau s'ha elaborat com una part de la investigació realitzada en els següents projectes de recerca:

- SAFESPRAY: *Estrategias para una utilización de fitosanitarios segura y eficaz. Pulverización de precisión y monitorización de la deriva en fruticultura*. Cód.: AGL2010-22304-C04-03.

- AgVANCE: *Herramientas de base fotónica para la gestión agronómica y el uso de productos fitosanitarios sostenible en cultivos arbóreos en el marco de la agricultura de precisión.* Cód.: AGL2013-48297-C2-2-R.

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
"Una manera de hacer Europa"

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

AGL2010-22304-C04-03

1. Introducció

1.1. Robòtica agrícola

1.1.1. Robòtica

- *El Robot*

Segons el *Robot Institut of America* (1979) un robot és: "Un manipulador reprogramable multifuncional, dissenyat per a moure materials, peces, eines o dispositius especialitzats a traves de diversos moviments programats per al compliment d'una sèrie de tasques." Es pot definir com a dispositiu automàtic que té la capacitat de realitzar funcions que normalment són atribuïdes als éssers humans."

Un robot ha de ser sobretot funcional i dissenyat amb qualitats que s'adaptin a les seves tasques principals. Depèn de la tasca en qüestió el robot és més gran, petit, capaç de moure's o clavat en el sòl.

- *El primer robot*

Després de l'explosió tecnològica durant la II Guerra Mundial, al 1956, l'inventor i empresari George C. Devol i l'enginyer Joseph F. Engelberger es van reunir per a desenvolupar un robot treballador real. Engelberger va iniciar una companyia de fabricació anomenada "Unimation", i Devol va escriure les patents necessàries. El seu primer robot va ser sobrenomenat "Unimate". Com a resultat d'això, Engelberger és conegut com el "pare de la robòtica". El primer Unimate va ser instal·lat en una planta de General Motors. La gran varietat d'aplicacions d'aquest robot va fer que fos tot un èxit comercial: els robots funcionaven i estalviaven diners. En última instància Westinghouse va adquirir Unimation, que està en producció en l'actualitat, amb robots a la venda.

- *Robots industrials*

Els robots van ser desenvolupats inicialment en l'àmbit industrial i la seva finalitat era la substitució del operador humà per un sistema artificial que executés de forma autònoma una tasca física que impliqués per l'operador humà risc o fatiga. Un robot industrial és una màquina que pot efectuar diferents treballs automàticament a partir d'una programació informàtica prèvia. A més, és capaç de prendre decisions en funció de la informació que li arriba del exterior. El robot industrial forma part del progressiu desenvolupament de l'automatització industrial, afavorit notablement per l'avanç de les tècniques de control per ordinador, i contribueix de manera decisiva en els processos de fabricació en sèrie. (Murphy, 2000)

Als anys 80 la industria robòtica va créixer molt ràpidament, principalment amb grans inversions en la indústria de l'automòbil. Actualment, la robòtica està experimentant un creixement explosiu propulsat pels avanços en computació, sensors, electrònica i software. Especialistes en robòtica han desenvolupat dispositius mecànics que poden moure's per sí sols, el seu moviment ha de ser modelat, planificat, detectat, accionat i controlat, i pot ser influït per l'aprenentatge. Els robots estan revolucionant els procediments utilitzats en l'agricultura, la mineria i el transport. Per a assolir els objectius de mercat, ara es tracta de fer evolucionar la tecnologia i formar a les persones que l'han de liderar en un futur.

Els robots industrials poden millorar la qualitat de vida alliberant als treballadors de les tasques més avorrides, cansades, perilloses i pesades.

Els beneficis a la indústria inclouen la millora del control, productivitat i alta qualitat dels productes. Poden treballar tantes hores com faci falta sense perdre forces.
En conseqüència, ajuden favorablement a reduir costos de manufacturació. Com a resultat d'aquests beneficis, els països que utilitzen robots de manera efectiva en les seves industries tenen un avantatge en el món comercial i laboral.

- *Components del sistemes robòtics*

La Figura 1 mostra a continuació els components bàsics de tots els sistemes robòtics.

Un robot és en realitat un mecanisme (dispositiu mecànic) que es mou en el medi ambient, i al fer-ho, interactua físicament amb el medi. Aquesta interacció implica l'intercanvi d'energia física i d'informació. La detecció i l'actuació són les vies a través de les quals el controlador del robot determina la interacció del cos mecànic amb el món físic.

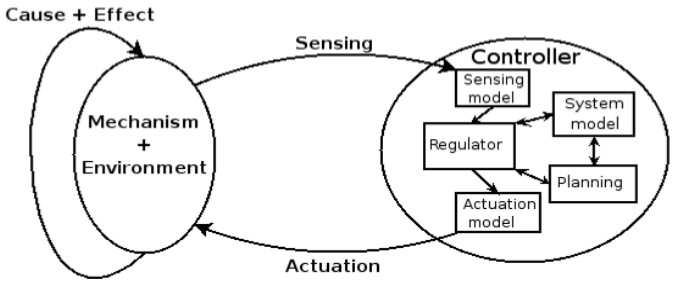


Figura 1.Relació causa-efecte en la interacció mecanisme-medi ambient

Un robot està format pels següents elements: estructura mecànica, transmissions, actuadors, sensors, elements terminals i controladors. La constitució física de la major part dels robots industrials guarda certa semblança amb les extremitats superiors del cos humà, per lo que, en ocasions per a fer referència als diferents elements que componen el robot, s'utilitzen termes com cintura, braç, colze, canell, etc.

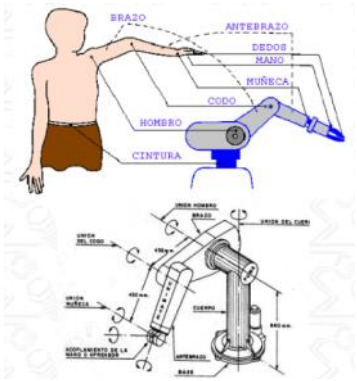


Figura 2.Descripció dels elements semblants entre l'esser humà i els robots.

Els elements que formen part del robot són:

1.Actuador

2.Controlador

3.Dispositius d'entrada i sortida de dades.

4.Dispositius especials.

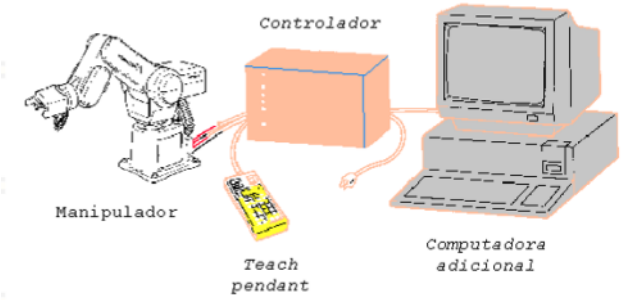


Figura 3. Elements d'un robot

1.Actuador

Mecànicament, és el component principal. Està format per una sèrie d'elements estructurals sòlids o baules unides mitjançant articulacions que permeten un moviment relatiu entre cada dos baules consecutives.

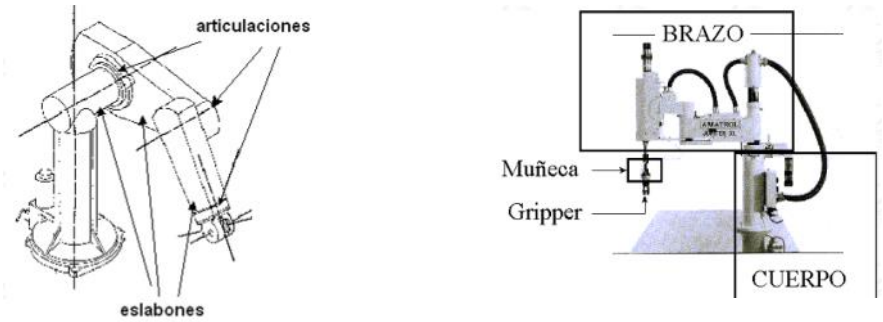


Figura 4. Descripció del mecanisme i d*escripció de les semblances amb l'esser humà.*

Les parts que conformen el manipulador reben, entre altres, els noms de: cos, braç, canell i actuador final (o element terminal). A aquest últim se'l coneix habitualment com aprehensor, arpa, pinça o *gripper*.

Cada articulació proveeix al robot d'almenys, un grau de llibertat. En altres paraules, les articulacions permeten al manipulador realitzar moviments:

Figura 5. Moviment lineal i moviment angular

(En els dos casos la línia vermella representa la trajectòria seguida pel robot).

2.Controlador

Com el seu nom indica, és el que regula cada un dels moviments del manipulador, les accions, càlculs i processos d'informació. El controlador rep i envia senyals a altres màquines-eines (per mitja de senyals entrada/sortida) i emmagatzema programes.

Una classificació de control és la que es distingeix entre control en bucle obert i control en bucle tancat.

El control en bucle obert dóna lloc a molts errors i encara que és més simple i econòmic que el control amb bucle tancat, no s'admet en aplicacions industrials en les que l'exactitud és una qualitat imprescindible. La immensa majoria dels robots que avui en dia s'utilitzen amb fins industrials es controlen mitjançant un procés en bucle tancat, es a dir, mitjançant un bucle de realimentació. Aquest control es porta a cap amb l'ús d'un sensor de posició, velocitat, etc) que monitoritza l'estat de l'actuador. La informació rebuda des del sensor es compara amb el valor inicial desitjat (consigna) i s'actua en funció de l'error obtingut de forma tal que la posició real del braç coincideixi amb la que se li havia establer inicialment.

Un exemple de control en llaç obert podria ser una torradora, ja que al no tenir termòstat, la màquina deixa de funciona sense saber si la torrada esta o no torrada.

En canvi, un exemple amb un llaç tancat, seria un forn. Al tenir termòstat, la màquina deixa de funciona quan aquesta arriba a la temperatura senyalada i torna a elevar la temperatura si aquesta baixa.

3.Dispositius d'entrada i sortida

Els més comuns són: teclat, monitor i caixa de comandaments (*teach pendant).*

En la figura següent es té un controlador (*computermodule)* que envia senyals als motors de cada un dels eixos del robot i la caixa de comandament (*teach pendant)* la qual serveix per ensenyar-li les posicions al manipulador del robot.

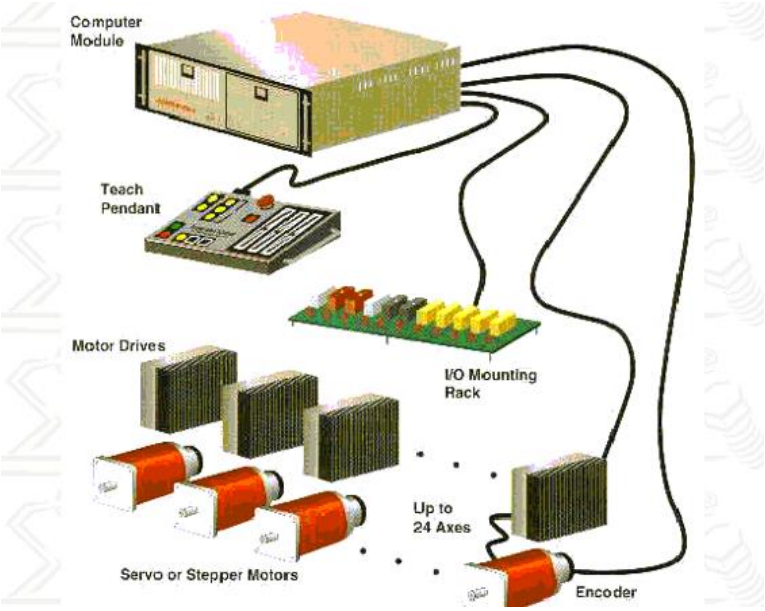


Figura 6. Dispositius d'entrada i sortida de dades

Els dispositius d'entrada i sortida permeten introduir i a la vegada veure dades del controlador. Per a donar instruccions al controlador i per a donar d'alta programes de control, normalment s'utilitza una computadora addicional. És necessari aclarir que alguns robots únicament posseeixen un d'aquest components. En aquest casos, un dels components d'entrada i sortida permet la realització de totes les funcions.

- *Classificació dels robots*
  - Classificació segons el seu moviment
    - Robots mòbils

Els robots mòbils són capaços de desplaçar-se, en general, realitzen treballs en àrees de recerca. Un exemple és el Mars Explorer, específicament dissenyat per recórrer la superfície de Mart. Els robots mòbils són de gran ajuda en catàstrofes, per exemple, per accedir a zones on una persona no hi pot arribar, per a veure si hi ha supervivents, si és una zona perillosa per als humans...

Figura 7. Mars Explorer

Els robots mòbils poden dividir-se en dues categories:

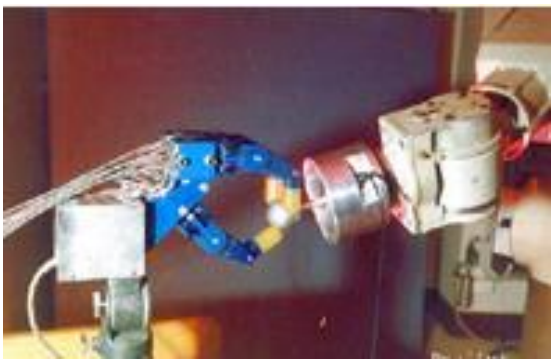
Robots amb rodament: Els robots amb rodament són robots amb rodes per moure's. Aquests són el tipus de robots que poden buscar ràpida i fàcilment. No obstant això, només són útils en àrees planes.

Figura 8. Robot amb rodes

Robots caminadors: Són robots amb cames, utilitzats generalment en zones rocoses i de difícil accés per a robots amb rodes. Tenen poc equilibri en el canvi de pes d'una cama a l'altra i poden caure. És per això que la majoria dels robots tenen almenys 4 cames, en general tenen 6 potes o més. Fins i tot quan s'aixequi una o més cames encara mantenen el seu equilibri. El desenvolupament de robots amb potes sovint es fa seguint el model dels insectes o llagostes.

Figura 9. Robot amb cames

- Robots estacionaris



Un robot estacionari té com a objectiu realitzar tasques sense desplaçar-se, és a dir, no tenen sistema de locomoció. La majoria dels robots realitzen tasques repetitives, mai es cansa, està programat per a realitzar la seva feina durant la jornada de treball sense queixes. En el cas que es canviï de tasca, es fa una reprogramació al sistema del robot.

Figura 10. Robot que realitza tasques en un banc de treball

- Robots autònoms

Els robots autònoms són auto-suportants. Executen un programa que els hi dóna l'oportunitat de decidir sobre una acció a realitzar en funció del entorn. Comencen amb una rutina curta i adapten aquesta rutina per aconseguir fer la tasca amb èxit. Els robots autònoms poden aprendre a caminar o a evitar obstacles en el seu camí.

Figura 11. Robot autònom amb un ordinador portàtil

- Robot amb control remot

En el cas que un robot hagi de fer una tasca molt complicada, és millor que un humà el guiï. Una persona pot guiar al robot amb control remot. Per exemple, per a detonar una bomba.

Figura 12. Robot capacitat per fer feines complicades

- Robots virtuals

Aquests robots no existeixen en la vida real. Els robots virtuals són programes, blocs de construcció de software dins d'un ordinador. Un robot virtual pot simular a un robot real o realitzar una operació repetitiva. Un tipus especial de robot virtual és un cercador d'Internet. Aquests robots s'arrastren d'un lloc web a un altre, recopilen la informació i s'envia als motors de recerca. Un altre robot virtual popular són els simuladors de conversacions amb els usuaris d'Internet.

➢ <u>Classificació segons l'arquitectura</u>

L'arquitectura d'un robot és definida pel tipus de configuració, i poden ser:

- Poliarticulats: Robots sedentaris o amb moviments limitats. Manipuladors, robots industrials, robots cartesians.

Figura 13. Robot industrial Puma

- Mòbils: Gran capacitat de desplaçament, guiats per informació rebuda per sensors o teleoperats.
- Androides: Robots que intenten reproduir total o parcialment la forma i el comportament cinemàtic dels humans. Són robots d'estudis i experiment, sense cap utilitat pràctica.

Figura 14. Robot ASIMO

- Zoomòrfics: Robots amb característiques en el sistema de locomoció que imita als éssers vius. Tenen rodes o erugues per a desplaçar-se.

Figura 15. Microrobot amb rodes tipus tanc, Sanddragon

- Híbrids: Robot amb vàries característiques descrites anteriorment.

1.1.2. Aplicacions de la robòtica en l'agricultura

Al llarg dels últims cinquanta anys s'ha assistit a un gran creixement de la maquinària agrícola. La principal finalitat d'aquesta és l'automatització de feines que impliquen un gran esforç físic, fatiga o entre altres els riscos laborals per a l'operari.
Els productes han evolucionat principalment en dos direccions:

1. D'una banda, en el desenvolupament i la implementació de manipuladors per a realitzar les feines agrícoles extenses, com segar i podar.

2. Per l'altra, el disseny de vehicles amb major grau d'autonomia de forma que l'agricultor adopti un paper col·laborador, gestor o supervisor de les feines. Això últim té com a propòsit millorar la concentració del conductor, com per exemple assegurar un recorregut complet pel camp.

Els resultats que s'han obtingut en l'ús de màquines manipuladores agrícoles automàtiques són excel·lents, encara que aquestes han de ser transportades per un vehicle amb conducció manual o semiautomàtica. En canvi, amb els sistemes mòbils no passa el mateix, ja que el seu ús en el camp és encara més reduït limitant-se en la majoria dels casos a sistemes d'ajuda per a la guia manual d'alta precisió i sols en els últims anys han començat a despuntar els primers resultats experimentals.

Rellevar a l'agricultor de la conducció del vehicle permetrà que aquest fixi la seva atenció en altres feines com sembrar o fumigar. A més a més del guiat del vehicles també existeixen altres feines com aquelles que són repetitives, tedioses i àrdues, com serien les feines en una gran extensió de terreny. Així es podrien millorar, per exemple, els processos de recollida de fruita i hortalisses. També aquelles feines considerades perilloses, per així millorar la seguretat i la salut dels operaris.

Encara que es pot veure que l'automatització aportaria grans beneficis per a les feines agrícoles, encara existeixen obstacles per al seu desenvolupament. Alguns del problemes són:

1. La difícil elaboració que comporten alguns dels sistemes mecànics, que requereixen unes adaptacions precises per a suplir les habilitats d'un treballador especialitzat.

2. El factor econòmic, ja que la producció agrària es realitza per temporades i moltes practiques agrícoles tradicionals són difícils de modificar al introduir noves tecnologies.

Els robots agrícoles s'han dividit en dos grups, d'acord amb la capacitat de desplaçament autònom dels mateixos.

El primer grup el formen els robots manipuladors, compostos bàsicament per robots recol·lectors. I el segon grup el formen els robots o plataformes mòbils agrícoles amb un cert grau d'autonomia.

- *Robots manipuladors*

L'estructura d'un robot manipulador consisteix en un braç compost per articulacions. En l'últim enllaç es col·loca una pinça o un dispositiu especial per a realitzar les operacions necessàries.

Per exemple, en la recollida selectiva i automàtica de fruita i hortalisses els robots ofereixen un gran potencial al incrementar la productivitat reduint l'impacte ambiental. A continuació es descriuran alguns robots recol·lectors.

1.Robot trasplantador d'hortalisses

A l'institut Brain (Bio-oriented Technology Research Advancement Institute) al Japó han creat un robot transplantador. La seva finalitat és la de trasplantar les hortalisses plantades en hivernacles al camp.

Figura 16. Màquina trasplantadora d'hortalisses

2.Robot trasplantador d'arròs

Un altre projecte d'aquest àmbit és un vehicle per trasplantar arròs, fertilitzar i aplicar productes químics en arrossars. En la figura 19 s'aprecia la màquina treballant. La precisió d'aquest equip millora la producció i la qualitat de l'arròs.

Figura 17. Màquina trasplantador d'arròs

- *Robots recol·lectors*

La recol·lecció pot ser realitzada de manera continua per vibracions o per unitats. La recol·lecció continua s'utilitza en els cultius massius de cereals, blat i altres en què les plantes, seques o verdes, són tallades per la part inferior. L'ús de la vibració està indicat per a fruits i llavors dures com ametlles i nous.

A continuació es mostren algunes de les aplicacions que s'han dut a terme.

1.Robot recol·lector de taronjes i pomes

Creat a l'empresa Vision Robotics Corporation (VRC), de San Diego, (USA). El recollidor està compost per un sistema de visió utilitzant un escaner que identifica les taronjes a través d'un sistema d'escàner col·locat en varis braços multi-eixos i utilitzant vàries camàres esteroscòpiques per crear una imatge en 3D de tot l'arbre. Mitjançant vuit braços s'agafen les taronges d'una forma fàcil, eficaç i econòmica.

Figura 18. Màquina recol·lectora de taronges

El recol·lector de pomes té també un sistema de visió utilitzant un escàner.

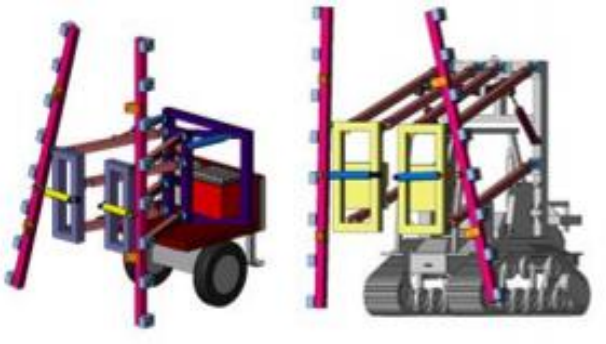


Figura 19. Màquina recol·lectora de pomes

2.Robot recol·lector de cogombres

Recollidor de cogombres (LASE). El recollidor de cogombres, també desenvolupat al LASE-Japó, és un manipulador articular guiat per una càmera monocromada de TV dotada d'un filtre per separar el cogombre de les fulles per reflectància espectral. En la figura següent es pot veure la màquina en funcionament entre els cogombres.

Figura 20. Màquina recol·lectora de cogombres

3.Robot recol·lector de xampinyons

Aquest va ser creat per la universitat de Warwick, UK, on es va desenvolupar un braç robot que permet detectar la mida adequada dels xampinyons. No obstant, aquest robot té un inconvenient, doncs la recollida és més lenta que la realitzada per l'operari.

Figura 21. Màquina recol·lectora de xampinyons

- *Robots mòbils*

La majoria dels robots anteriors no disposen de capacitat de desplaçament per ells mateixos. En aquest apartat es detallaran alguns dels robots que sí es poden desplaçar sols.

S'han dividit en dos grans grups:

1.Sistemes d'ajuda al guiat: Tenen com a objectiu el seguiment de trajectòries que redueixen l'estrès associat a la realització de feines que exigeixen molta concentració al llarg de moltes hores, encara que requereixen que l'operari es trobi al vehicle. El sistema de guiat es pot dividir en dos grups:

- Mètodes de guiat indirecte: Es troben aquells en els què l'operari dirigeix al tractor remotament.

- Mètodes de guiat directe: En ells els senyals de guiat procedeixen de sensors del vehicle.

2. Sistemes de navegació autònoma: En aquest cas l'objectiu és la navegació no tripulada capaç de resoldre les situacions previsibles i gran part d'imprevistos. És en aquest últim aspecte on radica el grau d'autonomia. En aquest cas, l'operari podria vigilar, des d'una estació de control, la navegació i la feina d'un o varis tractors.

- *Plataformes robòtiques*

Una plataforma robòtica pot adoptar qualsevol configuració que serveixi per al seu fi. Es poden classificar en dos grups: els vehicles convencionals i les plataformes innovadores.

Els vehicles tradicionals són aquells que es fan servir per a tasques de granja, com són els tractors, recol·lectors de gra, recollidors de cotó i fruita, ruixadors... Les màquines robotitzades difereixen dels vehicles convencionals en què incorporen sensors, pantalles i processadors, però en realitat el xassís del vehicle és el mateix.

Els equips es desplacen en mode de semiautonomia i solen fer-ho en camps freqüentats per treballadors, animals o altres màquines, el que suposa condicions de perill i poca seguretat.

La recerca de dades de camp ha portat al desenvolupament de nous i estranys vehicles que poden agrupar-se sota el terme de vehicles innovadors. Aquestes plataformes segueixen un disseny poc convencional que s'adapta especialment a la tasca concreta que ha de realitzar. Alguns exemples de maquinària agrícola d'aquest tipus són els que es presenten a continuació.

Figura 22. Vehicles de camp innovadors: (a) plataforma útil; (b) helicòpter vaporitzador; (c) robot explorador (cortesia de YoshisadaNagasaka)(Rovira et al., 2010)

- *Exemples vehicles agrícoles*

Dels cinc vehicles agrícoles que es descriuen a continuació, dos de ells són amb erugues a l'igual que la plataforma objecte d'aquest treball.

- Vehicle agrícola per a plantacions d'hortalisses del SRI

L'objectiu del robot desenvolupat a SilsoeResearchInstitute (SRI) del Regne Unit, és la navegació seguint línies de cultiu i una detecció i segmentació de les males herbes davant de les hortalisses, per a després poder-hi aplicar productes químics amb una precisió requerida.

Figura 23. Robot per al tractament d'hortalisses (SilsoeResearchInstitute)

- Vehicle autònom per arrencar males herbes de la Universitat de Halmstad

  S'ha desenvolupat a la Universitat de Halmstad (Suècia) un robot mòbil per a plantacions orgàniques de remolatxa, on no és possible l'ús d'herbicides. El robot consta de dos sistemes de visió, un frontal per al guiat del vehicle per al reconeixement de les línies de remolatxa i l'altre enfocat cap al sòl per distingir les remolatxes de les males herbes i calcular la seva posició.

Figura 24. Robot per arrencar males herbes en camps de remolatxa orgàniques

- Robot d'hivernacles AURORA de la Universitat de Màlaga

Es tracta d'un robot autònom dissenyat específicament per hivernacles. AURORA consta d'una plataforma octogonal mòbil amb un generador AC com a font d'energia alimentat amb gasolina. Consta de varis sensors d'ultrasons.

Figura 25. Robot mòbil en hivernacles AURORA

A continuació s'explicaran dos tipus de plataformes mòbils amb un sistema de rodadura diferencial basat en erugues de goma.

- Robot mòbil Fitorobot per un hivernacle

Robot creat pel grup de recerca TEP-197, de la Universitat d'Almeria. Es tracta d'un vehicle capaç de desplaçar-se de forma autònoma/tele-operada dins d'un hivernacle i a més a més realitzar vàries feines.

Figura 26. Robot mòbil en hivernaclesFitorobot

- Plataforma Goliat

Plataforma creada per la Universitat Carlos III de Madrid. Aquesta té la suficient independència com per a desplaçar-se en entorns exteriors. És capaç de determinar quin és el camí més segur. A més a més, permet la construcció de mapes de navegació en temps real, i és capaç de crear models en entorns interiors complexos, amb una alta densitat d'obstacles.

Està dotat únicament amb una brúixola, un làser i un navegador GPS. La brúixola i el làser permeten obtenir els mapes locals, mentre que el GPS és capaç de crear els mapes globals des d'un punt de referència fix.

Figura 27. Plataforma Goliat

- *Avantatges i possibilitats de la robotització agrícola*

- Permet la substitució d'operaris en feines perilloses per a la salut, com la polvorització de productes fitosanitaris.

- Engloba la realització de feines repetitives com la recol·lecta de fruits.

- Realització de les feines en hores nocturnes, la qual cosa permet estalviar temps, per exemple, en la recollida dels fruits.

- Millorar la precisió en algunes feines agrícoles, com les relacionades amb la biotecnologia i en concret amb la multiplicació de plantes a partir de teixit vegetal.

- Optimitzar l'eficiència i qualitat d'algunes de les feines, com la uniformitat en la plantació.

- Redueix costos, ja que es disminueix la quantitat de combustible i de productes utilitzats en totes les feines.

1.1.3 Navegació autònoma en l'agricultura

- *Vehicles autònoms*

Els primers usos de vehicles no tripulats es van realitzar durant la Primera Guerra Mundial. A partir dels anys seixanta, es van desenvolupar vehicles guiats per cables sota terra o mitjançant sensors òptics, seguint línies traçades en planta. Als anys 70 es comença a plantejar la possibilitat de desenvolupar robots amb major grau d'autonomia, i als anys 80, degut a una lleugera millora en els sistemes d'emmagatzemament elèctric, avanços d'automatismes com electrovàlvules, i desenvolupament dels ordinadors, es comencen a crear robots més autònoms, que fan que la seva labor no es limiti només a les fàbriques, sinó que s'apliquin a sectors com l'agricultura, mineria o el sector militar. Així comença a aparèixer el concepte de vehicle autònom d'exterior, enfront els vehicles d'interior, que avui en dia s'utilitzen per al transport, neteja, seguretat, treballs submarins i labors agrícoles i de jardineria.

Els vehicles no tripulats es poden definir com a vehicles que es controlen de forma remota per part d'un operador, o de manera autònoma. Són capaços de manejar per sí sols, decidir quina ruta seguir per a arribar a un destí fixat.

- *Creació d'una ruta*

El principal problema que es troba en la navegació és que cal saber on es troba el punt d'inici i el punt final on es vol arribar. Un cop es coneixen les dues posicions, s'ha de crear una ruta per arribar-hi. Un cop s'ha creat la ruta de tasques, s'executa, tenint sempre en compte que poden haver-hi obstacles pel camí, que s'hauran d'esquivar o ignorar per poder arribar amb èxit al lloc de destí.

El procés descrit anteriorment sembla molt senzill, però s'han tardat anys per poder implementar-lo en robots. Ens els passos descrits es troben els reptes de la navegació autònoma:

1. Localització: el robot ha de saber en tot moment on es troba.
2. Mapeig: el robot ha de saber construir una representació del seu entorn o mapa.
3. Planificació de rutes: el robot ha de saber calcular el millor camí per arribar al seu destí.
4. Seguiment de rutes: el robot ha ser capaç de seguir la ruta calculada evitant obstacles.

En la imatge següent es veu dibuixat un diagrama de blocs, amb les situacions descrites anteriorment.

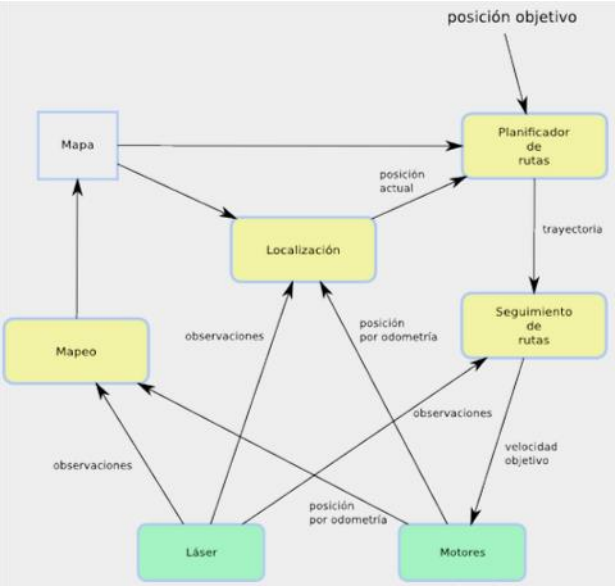


Figura 28. Diagrama que representa l'arquitectura de navegació autònoma

- *Sistemes que composen un vehicle automatitzat*

Tenint en compte la morfologia dels vehicles, el disseny de l'arquitectura del vehicle autònom o intel·ligent de seguir els següents criteris: robustesa i rendiment, cost, grandària, requisits d'alimentació i pes. Independentment de les propietats específiques de cada sistema, és important considerar el vehicle intel·ligent en el seu conjunt i no com el resultat de la fusió de sensors.

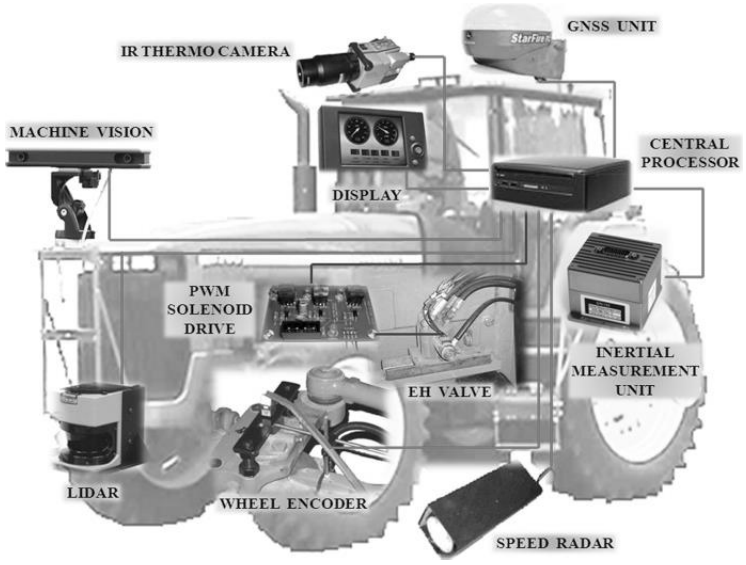


Figura 29.Arquitectura general d'un vehicle intel·ligent (Rovira et al., 2010)

Un dels principals errors en configurar un vehicle robotitzat que es destina a vagar per camp obert és obviar les dures condicions del entorn a les quals el vehicle pot ser exposat. Aquestes condicions poden fer que el vehicle no funcioni correctament, ja que la majoria d'aplicacions robòtiques estan dissenyades per a treballar a l'interior. El sistema ha de ser d'alta qualitat, ha de estar protegit i

col·locat de manera òptima. La figura 31mostra un tractor robotitzat amb alguns dels sistemes habituals que conformen un vehicle intel·ligent.

- Mesuradors de cabal, codificadors i potenciòmetres per a la posició de les rodes

La majoria dels sistemes de navegació implementen sistemes de control de bucle tancat per a fer una guia automàtica del vehicle. És essencial incorporar un sensor de realimentació que enviï la informació actualitzada de l'actuador, generant accions de conducció i maneig. Hi ha dos sistemes a seguir per aconseguir l'autoguiat: controlar el volant de conducció amb un motor pas a pas o accionar les unions del vehicle.

Quan el sistema de conducció automàtica està dissenyat per accionar les unions, el sensor de realimentació del bucle de control ha de proporcionar una estimació de la posició, i per això hi ha tres formes d'obtenir les comandes de realimentació:

1. Directament mesurant l'angle de gir amb un encoder

2. Indirectament mesurant l'angle al estimar el desplaçament del cilindre hidràulic

3. Indirectament mesurant l'angle de gir mitjançant el corrent que passa pel cilindre hidràulic

Hi ha ocasions en què les rodes de la dreta i la esquerra no giren el mateix angle, depenent del desplaçament que es vulgui fer, i un sensor determinarà l'angle que ha girat cada costat.

- Comptadors de polsos magnètics i radars per velocitat teòrica i d'avanç

La navegació autònoma es pot aconseguir mitjançant l'aplicació d'una gran varietat d'algoritmes, sensors planificadors de trajectòria i d'altres més sofisticats.

La majoria de les estratègies que s'han utilitzat requereixen l'estimació de la velocitat d'avanç del vehicle, ja que s'ha d'incorporar als models per a predir i traçar les trajectòries. El coneixement de la velocitat és indispensable per a l'ajust de l'angle de conducció apropiat, entre d'altres ajustos i càlculs.

- Sonar i làser (LIDAR) per la detecció d'obstacles i navegació

La detecció mitjançant ultrasons es va fer popular amb la robòtica mòbil gràcies al sensor sonar desenvolupat per Polaroid per una càmera de determinació de rang. Aquests sensors eren barats, i per tant, la solució assequible era organitzar una matriu d'ells al voltant del cos del robot. Uns altres sensors de percepció, tals com dispositius de visió i làsers, s'han descobert per aplicacions d'exterior. En la secció 1.3 es realitza una revisió dels principals sensors utilitzats en vehicles agrícoles.

- GNSS per la Localització Global

Actualment, la majoria dels principals fabricants de maquinària agrícola inclouen sistemes de navegació avançats. En la secció 1.2 s'explica en profunditat els GPS i les seves aplicacions, ja que formen part de la instal·lació del sistema de la plataforma a utilitzar en aquest treball.

- Termocàmeres e infrarojos per la detecció d'éssers vius

Els sensors de visió, sistemes LIDAR (làsers), i els dispositius ultrasònics no poden penetrar a través d'una capa densa de cultiu. En aquestes situacions, la màquina automàtica no pot detectar la presència dels éssers vius si no es basa exclusivament en els sensors de percepció local, com a càmeres i telèmetres òptics. Els accidents causats per vehicles agrícoles són habituals. Amb la finalitat d'evitar aquestes situacions, alguns vehicles sofisticats incorporen termocàmeres i infrarojos.

Les termocàmeres, també anomenades FLIR (forward-lookinginfrared), són càmeres que formen imatges basant-se en la radiació infraroja emesa pels objectes. Per exemple, permeten detectar en condicions de poca il·luminació, aquells treballadors o animals ocults per les plantes degut a que presenten temperatures significativament superiors a les plantes i el sòl.

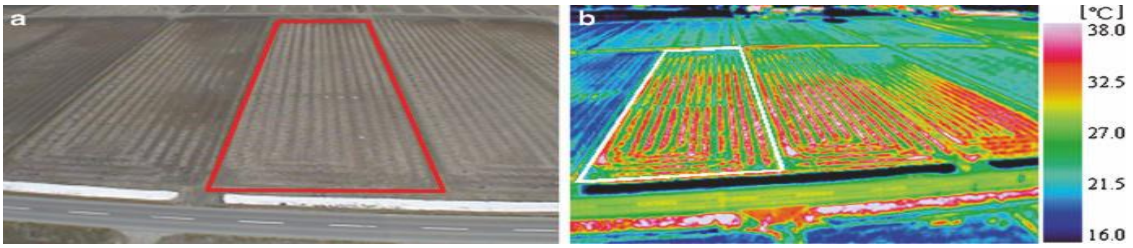


Figura 30. Mapa termogràfic(a) d'un escenari agrícola (b) utilitzat per analitzar el contingut d'aigua del sòl.

- Sensors inercials i magnètics per la dinàmica del vehicle

Els sistemes de control de retroalimentació són un conjunt de tècniques on la idea bàsica és estimar la diferència, és a dir, l'error, entre l'estat desitjat i l'estat actual del vehicle. La forma concreta de fer això és determinat pel disseny del controlador algoritme i pel llaç de control.

Els estats en què es troba el vehicle són mesurats per sensors inercials i són essencials a l'hora d'avaluar el comportament dinàmic del vehicle. Els acceleròmetres del IMU (unitat de mesura inercial) detecten l'acceleració (la variació de la velocitat en el temps) del vehicle. Les típiques unitats de mesura inercial comprenen tres giroscopis i tres acceleròmetres muntats al llarg de tres eixos perpendiculars que reprodueixen el sistema de coordenades cartesianes.

El principal desavantatge de les unitats de mesurament inercial és l'acumulació d'errors en el temps. Aquest problema és causat per la manera en què es fan les mesures, amb els valors anteriors es calculen els actuals. Un enfocament comú per fer de l'IMU un sistema més robust és integrar-ho amb els GNSS, que poden proporcionar les correccions de posició i velocitat. El GPS, en particular, proporciona la velocitat i el rumb quan el vehicle està en moviment.

- Altres sensors per a supervisar les funcions de monitorització

L'automatització completa d'un vehicle agrícola pot implicar diferents funcions, tals com accelerar, canviar al principi de la fila de la collita, elevar alguna part de la màquina... L'execució d'aquestes funcions requereix la correcta actuació dels actuadors i una sèrie de sensors de retroalimentació, com ara tacòmetres, velocímetres, posició de la palanca de velocitats, etc. Una bona manera de coordinar aquests sensors es realitza a través d'un ordinador a bord, que vincula tots els sensors del vehicle i facilita el seu control general.

1.2. Sistema GPS

1.2.1. Característiques del GPS i aplicació en l'agricultura

Les sigles GPS originàriament NAVSTAR Global Positioning System o NAVSTAR GPS, és un sistema de navegació per satèl·lit que permet saber amb molta precisió la situació geogràfica i l'hora de referència amb gran exactitud en gairebé qualsevol lloc de la Terra.

El GPS funciona mitjançant una xarxa de satèl·lits que orbiten al voltant de la terra. Quan es desitja determinar la posició, l'aparell que s'utilitza per a això localitza automàticament com a mínim quatre satèl·lits de la xarxa, dels quals rep uns senyals indicant la posició i el rellotge de cadascun d'ells. Sobre la base d'aquests senyals, l'aparell sincronitza el rellotge del GPS i calcula el retard dels senyals, és a dir, la distància al satèl·lit. Per "triangulació" calcula la posició en què aquest es troba. La triangulació en el cas del GPS, es basa a determinar la distància de cada satèl·lit respecte al punt de mesurament. Conegudes les distàncies, es determina fàcilment la pròpia posició relativa respecte als tres satèl·lits. Coneixent a més les coordenades o posició de cadascun d'ells pel senyal que emeten, s'obté la posició absoluta o coordenades reals del punt de mesurament. També s'aconsegueix una exactitud extrema en el rellotge del GPS, similar a la dels rellotges atòmics que des de terra sincronitzen als satèl·lits.

Els GPS d'ús comú tenen un error de precisió de 15 metres, i si s'utilitzen 9 satèl·lits en lloc dels 4 necessaris com a mínim i una bona dispersió es poden aconseguir precisions inferiors als 2,5 metres un 95% del temps.

- *Evolució del sistema GPS*

El GPS està evolucionant cap a un sistema més sòlid (GPS III), amb una major disponibilitat i que redueixi la complexitat. Algunes de les millores previstes comprenen:

- Incorporació d'un nou senyal en L2 per a ús civil.
- Addició d'un tercer senyal civil (L5): 1.176,45 MHz
- Millora en l'estructura de senyals.
- Millora en la precisió (1 - 5 m).
- Augment en el nombre d'estacions monitoritzades: 12 (el doble)
- Permetre millor interoperabilitat amb la freqüència L1 de Galileo

- *Aplicacions*

-Navegació terrestre, marítima, militar i aèria.

-Telèfons mòbils , rastreig i recuperació de vehicles.

-Topografia i aplicacions científiques en treballs de camp..

-Localització agrícola.

Figura 31. Receptor GPS típics en aplicacions agrícoles. (Rovira et al., 2010)

-Salvament i rescat.

-Esport, acampada i oci.

-Per localització de malalts, discapacitats i menors.

- *Satèl·lit de navegació global en agricultura*

Aquest apartat es centrarà en les aplicacions de GPS en vehicles intel·ligents offroad. És important destacar que els requisits de precisió per a una màquina agrícola que opera entre fileres de cultiu o arbres és molt alta, probablement el més alt de totes les aplicacions comercials actuals.

El somni de la direcció automàtica en el camp s'ha convertit recentment en una realitat gràcies a la popularització i l'accessibilitat del posicionament global en temps real a través de GPS. No obstant això, amb la base GPS primerenca les solucions no controlen realment la direcció del vehicle, el conductor sempre podrà guiar la màquina amb més precisió.

Aquest mètode, que encara està en ús, es realitza normalment a través de pantalles de la barra de llums. A la figura 33(a) es mostra una pantalla de barra de llums muntat en un tractor de mida mitjana utilitzat per cultius especials.

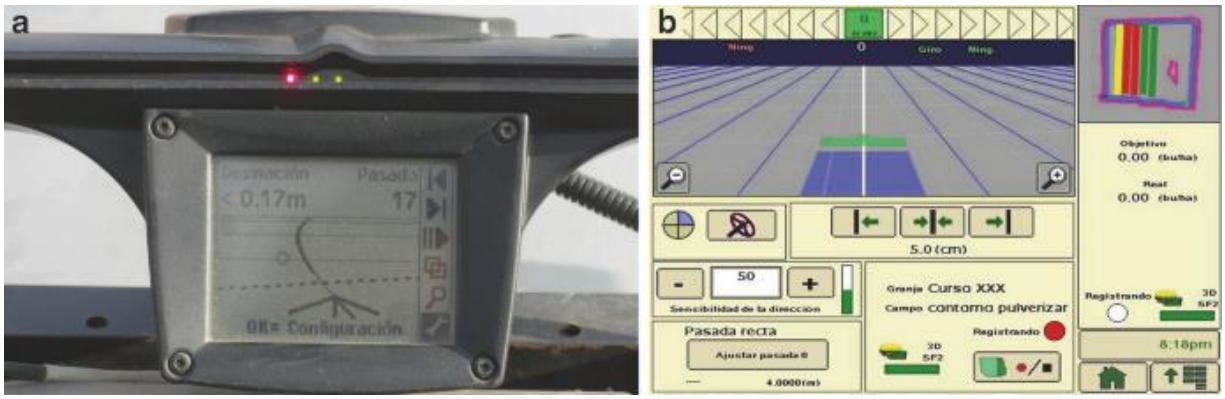


Figura 32.Assistència de direcció basat en GPS (a) Sistema de barra de llums, (b) la pantalla GUI. (Rovira et al., 2010)

Els desplaçaments laterals del vehicle es senyalitzen mitjançant l'activació d'un nombre equivalent de llums en el medi corresponent (correcció d'esquerra o dreta) d'una barra de LED.

Com que la tecnologia segueix evolucionant, les barres de llums estan sent reemplaçades per més monitors sofisticats on una interfície gràfica d'usuari (GUI) proporciona al conductor amb ordres d'orientació més respectuosos. La figura 34(b) inclou una d'aquestes pantalles utilitzada per l'assistència de direcció.

L'èxit sense precedents dels sistemes de la barra de llums va portar a una altra tècnica que permetria al vehicle automàtic passar pel llarg de les files de cultiu, una tècnica anomenada seguiment paral·lel.

Seguiment paral·lel: Aquest requereix la definició d'una línia de referència, també anomenada línia A-B, que estableix la ruta inicial de la qual es delinearà la resta de les passades, simplement compensant l'ample de les eines de treball. La línia A-B es traça típicament pel conductor i gravat amb el receptor GPS.

La major part del temps en el camp de l'agricultura s'inverteix en conduir al llarg de fileres, i el fet que el sistema sigui capaç de navegar amb èxit, s'ha de considerar com un triomf.

1.2.2. Sistema de coordenades universal transversal de mercator (UTM)

El GPS amb el qual es comunica la plataforma es basa en les coordenades UTM. Aquestes són un sistema de coordenades basades en la projecció cartogràfica transversa de Mercator, que es construeix com la projecció de Mercator normal, però en comptes de fer-la tangent a l'Equador, es fa la tangent a un meridià.

-Projecció de Mercator: És un tipus de projecció cartogràfica cilíndrica, ideada per Gerardus Mercator al 1969, per elaborar mapes de la superfície terrestre. Pretén representar la superfície terrestre sobre una superfície cilíndrica, tangent a l'equador, que al desplegar-se genera un mapa terrestre pla.

- *Projecció transversa de Mercator*

LA UTM es una projecció cilíndrica conforme. El factor de l'escala en la direcció del paral·lel i en la direcció del meridià són iguals. Les línies loxodròmiques (línies que uneix dos punts qualssevol de la superfície terrestre tallant a tots els meridians amb el mateix angle), es representen com línies rectes sobre el mapa. Els meridians es projecten sobre el mapa amb una separació proporcional a la del model.

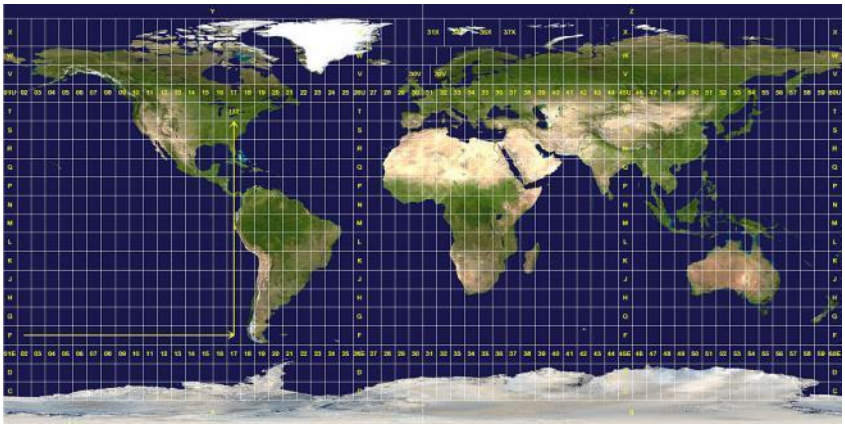


Figura33. Imatge de la divisió del món en coordenades UTM

- *Avantatges*

Són un sistema més intuïtiu almenys mentre que els moviments siguin dintre de la mateixa zona UTM.

Constitueix un sistema més estandaritzat ja que tenen una base decimal i no sexagesimal, mètrica i no angular i amb coordenades rectangulars.

- *Zones UTM: bandes i fusos*

Les coordenades UTM divideixen la Terra en zones UTM, com es pot observar en la imatge anterior. Cada zona UTM queda delimitada per dos meridians i dos paral·lels.

-Els fusos: Començant pel meridià 180º (proper o coincident a la línia internacional de canvi de data), girant cap a l'est i fent separacions cada 6º de longitud, dividim verticalment la Terra en 60 fusos (360/6) als que ens referim per un número, des de 1 fins al 60. Catalunya està enterament situada al fus 31 (0º-6ºE). Per tant, el present treball es desenvoluparà completament en aquesta zona.

-Les bandes: Tenen una altura de 8º començant pel paral·lel 80ºS i s'anomenen amb una lletra, començant per la lletra C. És interessant recordar que a la primera banda de l'hemisferi nord (0º-8ºN) li correspon la lletra N. Catalunya està tota situada dins la banda T (40ºN-48ºN).

-Les zones: La intersecció d'un fus amb una banda origina una zona, a la que ens referim amb el número de fus seguit de la lletra de la banda. Catalunya està totalment situada dins la zona 31T.

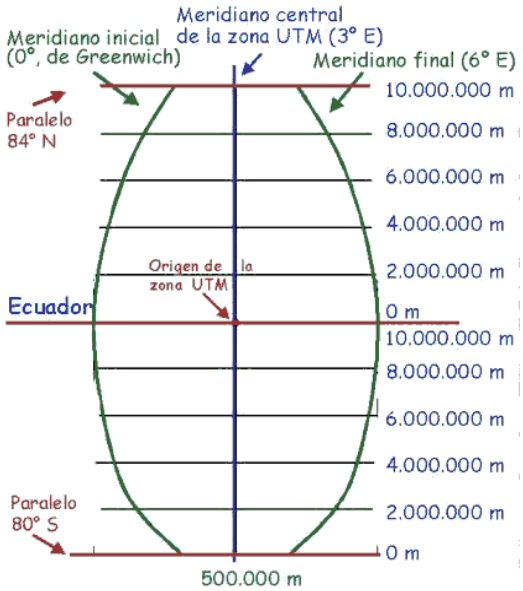


Figura 34. Exemple de la distribució de les coordenades

A més a més, una coordenada UTM no correspon a un punt determinat o una situació geogràfica discreta. Sempre correspon a una àrea quadrada. Qualsevol punt comprès dins d'aquest quadre té el mateix valor de coordenada UTM. En la imatge següent es pot veure un exemple:

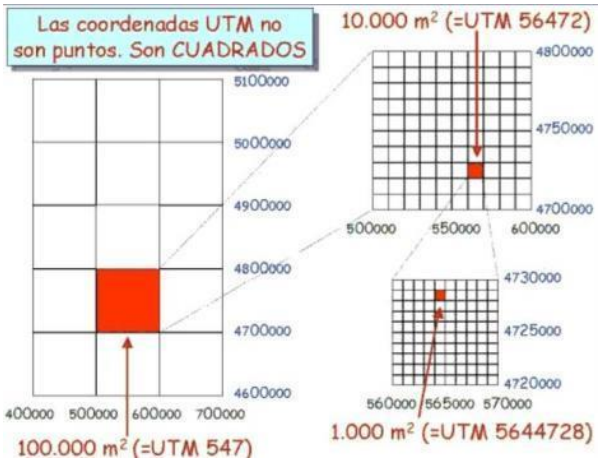
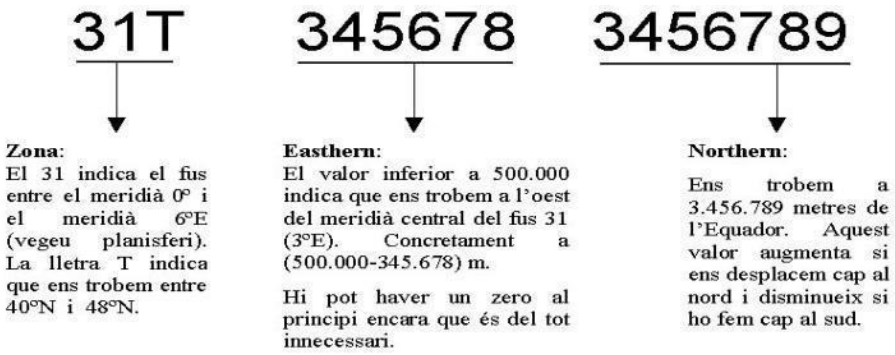


Figura 35. Exemple de distribució de cada quadrat de les coordenades UTM

Les coordenades tenen el següent format: són tres xifres per a les coordenades verticals (de 0 a 999Km) i quatres xifres per a les horitzontals (de 0 a 9999 Km). A continuació es pot veure un exemple de com interpretar les coordenades UTM.

- *Interpretació de les coordenades UTM*

Tal com sortirien al GPS, consten de 3 parts: zona - easthern-northern



Com més gran siguin els números de dígits que utilitzem en les coordenades, menor serà l'àrea representada. A continuació es pot veure un exemple de la resolució que determinada el número de dígits.

Coordenadas UTM	Zona y banda		Metros al Este	Metros al Norte	Resolución
30S 3546784891567	30	S	354678	4891567	1 metro
30S 35467489156	30	S	354670	4891560	10 m
30S 354648915	30	S	354600	4891500	100 m
30S 3544891	30	S	354000	4891000	1000 m

Figura 36. Exemple de coordenades UTM

Tant mateix si es volgués calcular les coordenades UTM en un mapa, primer de tot es designa la zona citant el fus i després la lletra de la banda, per exemple 30T.

Com es pot veure en la següent figura, Canàries correspondria a la quadricula 28R i Espanya a les quadrícules 29T, 30T, 31T, 29S, 30S i 31S.

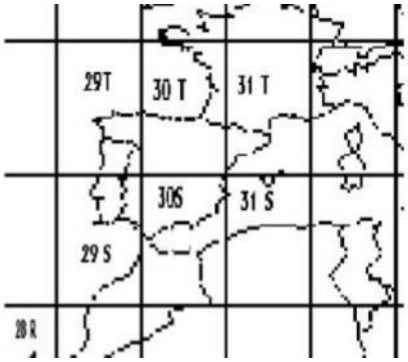


Figura 37.Espanya pertany a diferents quadrícules

A més, cada quadrat de 100 Km es subdivideix en quadrats de 1 Km.

Les coordenades venen determinades per dos sèries de números (xifres petites i grans):

-Aquelles que estan a dalt i a baix (Easting = distancia cap a l'est des de l'extrem occidental del fus):566

-Les que est troben a la dreta i esquerra (Northing = distancia des de l'Ecuador): 4835

Si només s'utilitzen les xifres gran, les coordenades es refereixen a la quadrícula de 100 Km.

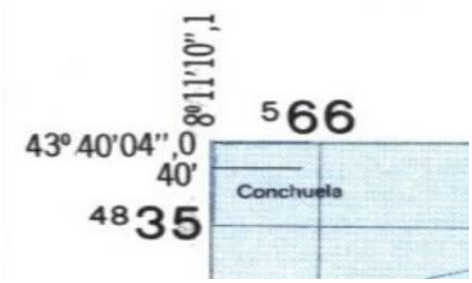


Figura 38. Exemple d'anàlisi de cada quadrat en coordenades.

Per tant, les coordenades UTM es poden definir de dues maneres:

-Una respecte al fus utilitzant les xifres petites i grans.

-Respecte a la quadrícula de referència de 100 Km de costat.

Cal tenir en compte que per a identificar un punt en la quadrícula d'1 Km, les coordenades UTM es calculen d'esquerra a dreta i de baix a dalt com si s'estigués en un eix de abscisses.

Cada quadre d'1 Km es nombra per les coordenades del seu vèrtex inferior esquerra.A continuació en veiem un exemple.

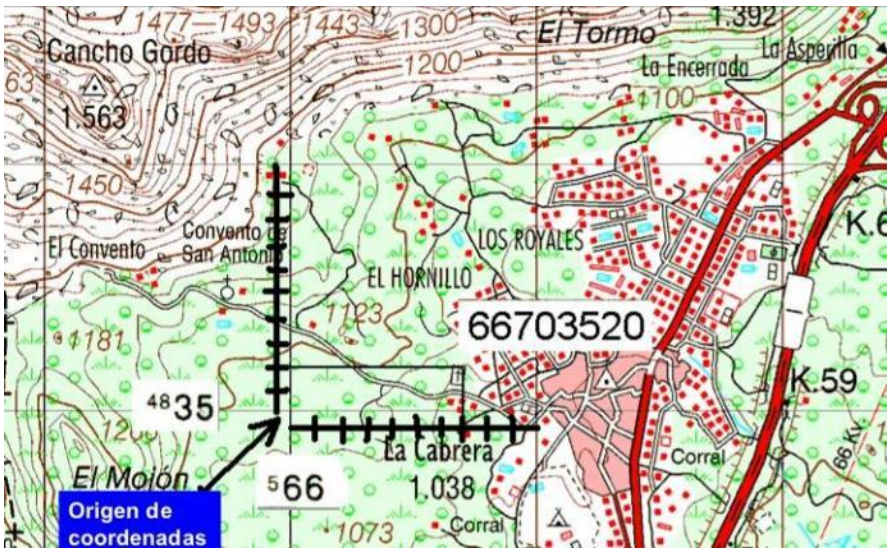


Figura 39. Posició de les coordenades respecte l'eix de coordenades

Es divideix cada costat del quadre en 10 parts iguals, i es conta a quina distancia està el punt de les coordenades que volem saber des de l'esquerra cap a baix.

- *Precisió i significat de les coordenades*

L'easthern i el northern es refereixen a dues línies corresponents a unes coordenades rectangulars que es creuen en un punt. Aquest punt és el límit inferior esquerra d'un quadre. La superfície d'aquest quadre ve determinada pel nombre de xifres en què s'expressen les coordenades. A continuació es mostra un exemple:

(6+7) xifres vol dir que les coordenades s'expressen en metres. Per tant, les coordenades especifiquen el metre quadrat de la superfície terrestre que té per vèrtex inferior esquerra el punt on es creuen els valors de les coordenades.

(5+6) xifres, en decàmetres;

(4+5), en hectòmetres;

(3+4), en Km.

- *. Aplicacions de les coordenades UTM*

-En els satèl·lits.

-Models GPS.

-GPS diferencials.

1.3. Sensors- sistemes de percepció local

Els diferents llocs de producció agrícola arreu del món són molt diferents, el que significa que depenent del entorn de treball, el vehicle realitzarà unes tasques determinades, tenint en compte els possibles riscos que això comporta. És per això que els vehicles estan dotats de sistemes de percepció local, que fan que aquests siguin capaços d'adonar-se de la presència d'obstacles i, si cal, abandonar el seu moviment per a esquivar-los amb precisió. Un aspecte important en el disseny d'un robot agrícola és decidir quin tipus d'entrada sensorial hauria de tenir el robot. La agricultura de precisió consisteix en l'aplicació del tractament correcte en el lloc correcte i en el moment adequat (Segerbald et al., 2012). És necessari recollir, emmagatzemar i tractar les dades de camp, procés molt comú realitzat per l'ésser humà, prenent mostres a l'atzar.

La navegació en entorns d'exterior té com avantatge la localització exacta del vehicle gràcies a les coordenades locals, encara que potser aquestes no es coneguin amb exactitud o variïn amb el temps. També ofereix una protecció addicional al vehicle al poder detectar obstacles inesperats, com màquines, persones o animals.(Rovira et al., 2010)

A continuació es presenten sis tipus de sensors de percepció local habitualment utilitzats en vehicles agrícoles autònoms: els sensors làser LIDAR, les càmeres monoculars, les càmeres multiespectrals, els sistemes de visió estereoscòpica, les càmeres 3D i els sensors d'ultrasons.

1.3.1. Sensors làsers, LIDAR

Un sistema LIDAR (acrònim de Light Detectionand Ranging) és un dispositiu òptic utilitzat per determinar les distàncies a objectes i superfícies. És útil per a molts usos, com l'obtenció de característiques de la superfície, vegetació. Disposa d'un emissor làser i d'un receptor (fotodetector). El làser normalment treballa a una longitud de ona de 532 a 1550 nm. La precisió en l'altura sol estar marcada entre 5 i 10 cm, segons especificacions, encara que aquest valor pot ser elevat.

- Funcionament bàsic del LIDAR

El sensor LIDAR funciona amb polsos d'energia làser. Els receptors dels sensor LIDAR detecten i analitzen el reflex del làser sobre els objectius blancs. Per a calcular la distància, el sistema mesura el temps que tarda cada pols en viatjar del sensor al blanc i tornar fins al receptor. Es multiplica aquest temps per la velocitat de la llum i es divideix el resultat per dos. Aquest temps entre la transmissió del feix del làser i la recepció del eco és conegut com temps de vol (*time-of-flight*).(Rosell et al., 2008)

El procés d'extracció de dades s'anomena pre-processat, i consisteix en validar les dades obtingudes en funció dels resultats de la posició del GPS. Una vegada s'ha realitzat aquest pas, s'obtenen com a *outputs* els arxius en format LAS, l'estàndard per a la majoria de sistemes LIDAR. Les operacions a realitzar sobre els arxius LAS són les incloses en el procés de post-processat. Consisteix en assignar una classificació a les dades extretes anteriorment. Aquesta classificació inclou categories com a base del terreny, vegetació, edificis o altres elements.

Donat que pot ser durant el seu funcionament, el sensor no estigui completament estable i anivellat, es necessita una manera de mesurar l'orientació del làser en el moment en què es dispara cada pols de llum. L'equip IMU (unitat de mesura inercial) dóna aquesta informació. Mesura el balanceig, i viratge del sensor mentre està en moviment. Després, aquestes correccions angulars es combinen amb la informació de posicionament del GPS i amb la telemetria. Un software especialitzat calcula les coordenades XYZ de cada dada.

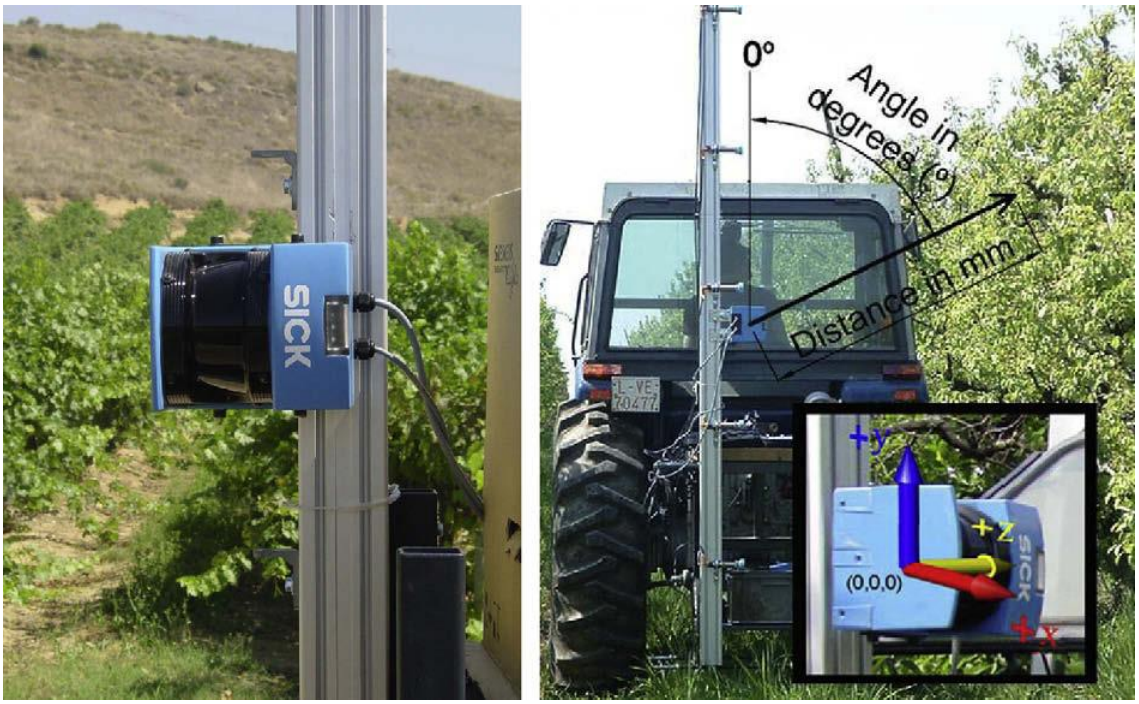


Figura 40. Sistema LIDAR situat en un vinyer (esquerra) i un camp de pereres (dreta) mostrant les coordenades polars (distància r i angle Θ) i les coordenades cartesians (x,y,x) del sistema de referència. (Rosell et al., 2008)

- Característiques bàsiques del LIDAR

· Pols de repetició (PRF): És el ritme al que el làser emet polsos, mesurat en KHz. Per exemple, un pols de 200KHz vol dir que el LIDAR emet polsos 200.000 vegades per segon, i el receptor ho rep posteriorment.

· Freqüència d'escaneig: Mentre que el làser emet polsos de repetició, l'escàner oscil·la. El sistema mòbil de l'anterior Figura té un escàner que gira 360^0 contínuament, mentre els sistemes aeris es mouen només endavant i enrere.

· Angle d'escaneig: Es mesura en graus, i és l'angle al qual l'escàner es mou des d'un extrem fins l'altre. Aquest angle es pot ajustar en funció de l'aplicació que es vulgui donar al sensor.

· Núvol de punts: Són dades LIDAR organitzades espacialment i post-processades. Els núvols de punt inicial són grans col·leccions de punts d'elevació 3D, que inclouen X,Y i Z, junt amb atributs addicionals com a marques de temps de GPS.

Una de les primeres decisions que cal prendre a l'hora de treballar amb un sensor LIDAR és el tipus de tècnica que es farà anar per a la captura de dades (àrea, terrestre...), aquestes tècniques es revisen a continuació.

- Tipus de tècniques de captura de dades

· LIDAR aeri: Normalment utilitzat en àrees grans. El sensor es col·loca en un avió, que normalment vola a una alçada d'entre 400 i 2.500 metres sobre la superfície. La precisió sol estar entre 9,25 i 18,5 cm verticalment, i entre 20 cm i 1m horitzontalment.

· LIDAR aeri de baixa altitud: S'utilitza normalment per a estudis de vies de comunicació i infraestructures lineals, com línies elèctriques. L'altitud de vol és molt menor, entre 50 i 800 metres sobre la superfície, i normalment el sensor va muntat en helicòpters. D'aquesta forma s'aconsegueixen densitats que oscil·len entre els 20 i 100 punts per metre quadrat, i amb major precisió.

· LIDAR mòbil: El sistema està muntat a la part posterior d'un vehicle de tal forma que el làser rota 360^0 contínuament durant l'operació, mentre que el vehicle avança. La precisió és la major en relació amb la resta de tècniques. La distància màxima d'abast sol ser d'uns 200m des del sensor, i la densitat de punts per metre quadrat pot arribar als 4.000 punts.

· LIDAR terrestre: En aquest cas, el sistema no es mou, està muntat sobre un trípode i no sobre cap dispositiu mòbil, i s'utilitza per a estudiar un àrea concreta d'interès, per exemple, un pont. La precisió és molt alta, però la quantitat de dades a recollir està limitat ja que es tracta de sistemes estacionaris.

Figura 41. Sensor FX6 LIDAR muntat en un trípode

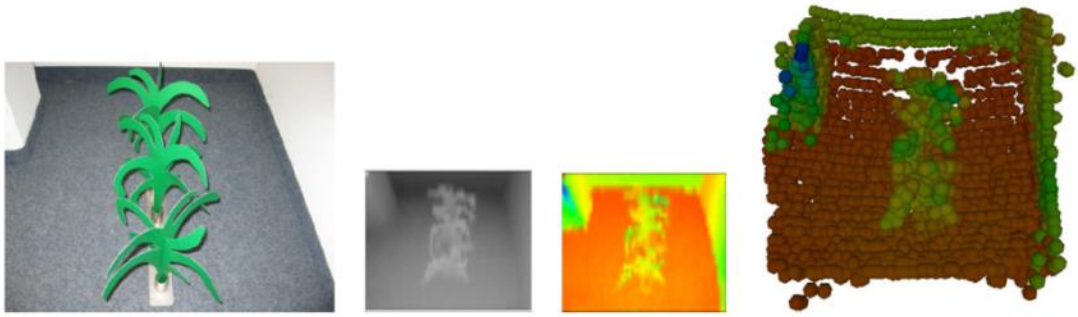


Figura 42. La imatge(a) mostra una fila de panís artificial feta de paper. La imatge de profunditat (b) i la imatge d'intensitat de reflectància (c) mostren la mateixa vista però usant el sensor FX6 LIDAR. El núvol de punts (d) correspon a (a),(b) i (c). (Segerbald et al., 2012)

- LIDAR i la vegetació

El sensor LIDAR per sí sol no travessa la vegetació, si no que part dels punts "es colen" a través del ramatge, arribant fins a punts inferiors i així produir el retorn. Amb més separació entre els punts, menys retorn. Per a les formacions caduques, si es desitja obtenir la superfície, s'haurà de treballar quan les fulles no estiguin al arbre. En el cas de les formacions perennes, per aconseguir treballar adequadament, s'haurà d'optar per augmentar la concentració de punts. Com a recomanació, es sol apuntar a una densitat de 8 a 10 punts per metre quadrat per obtenir informació detallada sobre la vegetació.

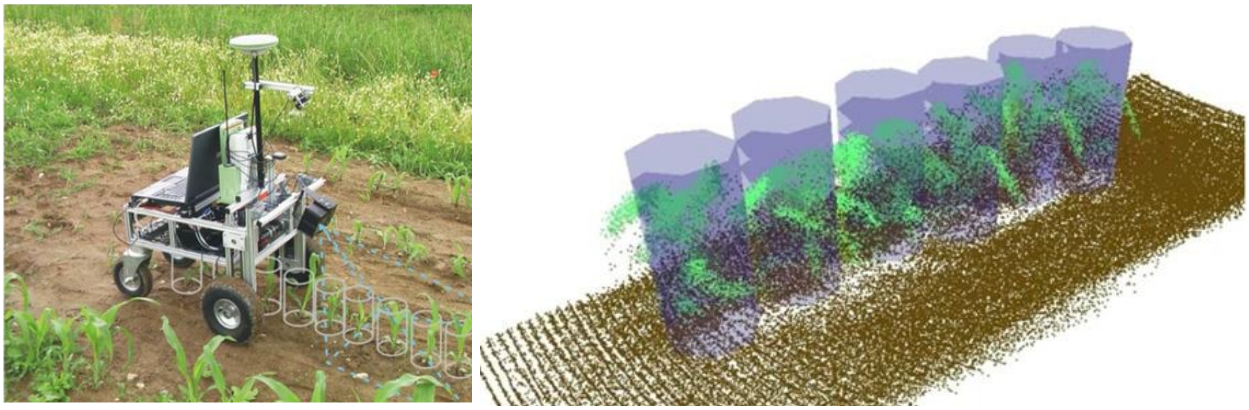


Figura 43 En la imatge (a) s'observa un robot de proba sobre un camp de panís rastrejant les plantes amb el sensors 3D FX6 LIDAR. La imatge (b) mostra un núvol de punts d'una fila de panís artificial, tot construït utilitzant un làser escàner. Els punts detectats com a terra són de color marró, els punts pertanyents a les plantes estan de color verd, les plantes de panís descobertes estan marcades usant cilindres púrpura. (Weiss & Biber, 2011)

- Avantatges i inconvenients dels sensors LIDAR

Un dels avantatges de la utilització del sensor LIDAR és que pot cobrir un ample rang de mesura (de 4 a 30m) amb molta precisió (+-0.02 cm en 30m). Es poden muntar en plataformes giratòries per l'adquisició de dades en 3D. Són capaços de treballar en qualsevol entorn. Són resistents a condicions climatològiques hostils (llum del sol directa, altes temperatures, humitat relativa, condicions de boira o pols...), per tant és possible utilitzar el sensors les 24 hores del dia. Les mesures preses poden servir després per als models de forma i la morfologia de les plantes.

En contrast amb la majoria de càmeres de visió estèreo, el sensor LIDAR calcula la informació en el propi sensor, per tant no es necessita invertir molt temps fent càlculs posteriors al ordinador. La distància màxima que pot mesurar només és limitada per la intensitat del raig làser, perquè el sensor mesura el temps de vol, i no el canvi de fase.

En quant a la seva anatomia, el sensor LIDAR és lleuger i no té parts giratòries mecàniques, però té baixa resolució.

A vegades són sensibles als colors, i requereixen de llargs processos per a l'extracció d'informació. No es poden detectar característiques sensitives (textura, maduresa, colors...) de les plantes i fruites. Els preus depenent segons la seva precisió.

Els sistemes de visió artificial s'utilitzen per captar imatges, traçar mapes en un entorn agrícola, o la detecció d'obstacles per a garantir la seguretat a l'hora de realitzar les tasques, detectant persones i altres objectes.

S'adquireixen dades 3D amb dos o més càmeres de detecció passiva. Aquestes càmeres faciliten la construcció de mapes, la navegació en entorns naturals i en missions de rescat. No obstant, la visió estèreo te les seves limitacions, especialment en entorns amb algunes característiques i visibilitat limitada si les condicions de llum no són les desitjades.

Dintre dels sistemes de visió artificial es troben 3 tipus de sensors: els sensors amb càmeres monoculars, les càmeres multiespectrals i les càmeres amb visió estereoscòpica.

1.3.2. Càmeres monoculars

Els sistemes de visió artificial s'utilitzen per captar imatges, traçar mapes en un entorn agrícola, o la detecció d'obstacles per a garantir la seguretat a l'hora de realitzar les tasques, detectant persones i altres objectes.

S'adquireixen dades 3D amb dos o més càmeres de detecció passiva. Aquestes càmeres faciliten la construcció de mapes, la navegació en entorns naturals i en missions de rescat. No obstant, la visió estèreo te les seves limitacions, especialment en entorns amb algunes característiques i visibilitat limitada si les condicions de llum no són les desitjades. Dintre dels sistemes de visió artificial es troben 3 tipus de sensors: els sensors amb càmeres monoculars, les càmeres multiespectrals i les càmeres amb visió estereoscòpica. En aquest apartat es tractaran les càmeres monoculars i en els següents, les altres dues tipologies.

Generalment, les càmeres monoculars es poden classificar segons dos conceptes:

1.- Tipus d'imatge: monocromàtica o color.

2.- Tipus de senyal de sortida: Analògica o digital.

Quan la càmera és analògica, donat que l'algoritme informàtic només pot tractar imatges digitals, és necessària una targeta capturadora per a convertir la imatge analògica en digital abans de enviar-la al ordinador. La informació visual s'adquireix mitjançant una matriu de cèl·lules sensibles a la llum.

La selecció de les lents de la càmera és fonamental, tenint en compte les aplicacions que es donaran a la càmera, la llum del entorn...Alguns dels aspectes que cal considerar a l'hora de escollir un tipus de lent són:

- Qualitat de les lents: A major qualitat, més nitidesa en la imatge. Si la imatge no és nítida, cal filtrar la imatge.

- Grandària del sensor d'imatge: Els fotons de les matrius de les càmeres tenen diferents grandàries i resolucions. Aquests han de coincidir amb el de la lent per evitar disminucions en la intensitat i la saturació en la perifèrica de la imatge.

- Longitud focal. Generalment es coneix com *f*, i depèn de l'escena que es detecta. Estableix la forma i les dimensions del camp de visió de la càmera i determina com d'a prop apareixen els objectes en la imatge.

- El tipus de muntatge: És un dels aspectes més importants i una gran font de problemes.

- Capacitat d'autoexposició: Algunes lents poden ajustar l'obertura del iris en funció de la llum ambiental, a fi de que els canvis en la llum estiguin compensats pel hardware instal·lat, i així no cal aplicar tècniques de correcció ni millorar les imatges en processos posteriors.

A continuació es mostren diferents muntatges de la càmera de visió en un vehicle agrícola, depenent de la funció que tingui o les tasques que es realitzen amb el tractor i les condicions atmosfèriques a les que s'enfronta.

Figura 44. Localitzacions de la càmera en un tractor: (a) Part davantera de la cabina; (b) Damunt de la cabina; (c) capçal de la recol·lectora

1.3.3.Càmeres multiespectrals

L'espectre de llum visible satisfà les necessitats de la majoria de les aplicacions intel·ligents dels vehicles agrícoles, i principalment aquelles relacionades amb l'ajuda en la navegació i l'automatització. La majoria de les càmeres monoculars, des de les webcam bàsiques fins als sensors d'alt rendiment, són sensibles a la llum visible, la qual cosa significa que veuen exactament el que veiem els éssers humans. No obstant això, hi ha altres aplicacions agrícoles que demanden la detecció en diferents bandes electromagnètiques.

Les càmeres multiespectrals poden capturar llum de fora del rang de freqüències de la llum visible, permetent la detecció de característiques especials que no són distingibles pels receptors vermell, verd i blau dels ulls humans. Els sensors d'imatge multiespectral freqüentment produeixen diferents bandes estretes per separat, algunes de les quals o totes elles cauen fora del rang visible. Una combinació de bandes espectrals de particular interès en l'agricultura s'obté mitjançant la substitució del canal blau d'infrarojos. Aquest conjunt de bandes verd-vermell-infrarojos és particularment eficaç per detectar les característiques de la vegetació. La figura 47(a) mostra una càmera multiespectral utilitzada per supervisar la salut de les fulles. La figura 47(b) és una imatge d'una planta de soja en l'espectre visible, mentre que la figura 47(c) és la mateixa imatge presa amb la combinació de bandes verd-vermell-infrarojos.

Figura 45. (a) càmera multiespectral; (b) imatge R-G-B; (c) imatge R-G-IR. (Segerbald et al., 2012)

1.3.4. Visió estereoscòpica

Amb una sola càmera és possible transformar un punt 3D del món real en un punt 2D d'una imatge. Però al intentar l'operació a la inversa, es presenta un greu problema. A partir d'una sola imatge de l'escena no es pot esbrinar a quin punt tridimensional correspon cada píxel. Així doncs, és necessari utilitzar dos càmeres que permetin capturar simultàniament imatges d'una mateixa escena, i així poder generar un mapa de profunditat que permeti calcular amb certesa les distàncies als objectes. (Tarlea, 2009)

Per exemple, es troba un objecte, i el punt vermell marcat en X en la Figura 48 és detectat amb la càmera esquerra. Sabem que la càmera dreta trobarà el mateix punt sobre la línia definida per OI-XL (mostrat en verd). Si trobem l'objecte sobre la càmera esquerra i sabem la posició de les dues càmeres, es pot saber la posició tridimensional de l'objecte usant triangulació, (sabem dos angles i un costat, que ens permet recrear el triangle sencer usant trigonometria). (Segerbald et al., 2012)

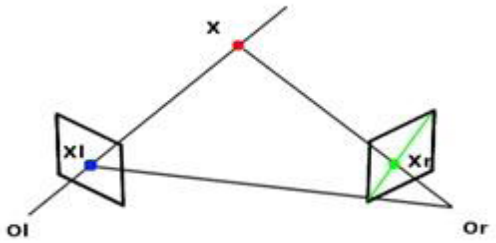


Figura 46. Exemple trigonometria utilitzada per a detectar objectes amb la càmera de visió estèreo. (Segerbald et al., 2012)

El major dels problemes en l'aplicació de les càmeres de visió estèreo és que es requereixen d'algoritmes de procés avançats i un hardware especial per a l'adquisició de dades.

1.3.5. Càmeres 3D

En els darrers anys s'ha desenvolupat una nova tipologia de càmeres que permeten obtenir mesures 3D, entre aquestes cal diferenciar les càmeres ToF (Time-of-Flight) i les de càmeres de llum estructurada.

Tenen un enorme potencial en aplicacions de robòtica mòbil com el mapatge, navegació i localització, robotització industrial per a evitar la col·lisió, seguiment d'humans, mesures especials...

Actualment però, la precisió de distància i la qualitat d'imatge d'aquestes càmeres és baixa en comparació amb altres sensors 3D.

1.3.6. Ultrasons

Els sensors d'ultrasons són dispositius de rang que estimen distàncies basant-se en el temps que passa entre l'emissió i la reflexió o eco d'una ona d'ultrasons. L'ona és transmesa en forma de con, i el diàmetre del con determina la regió detectable. Evidentment, el diàmetre del con creix amb la distància a l'emissor. Els sensors ultrasònics han de ser calibrats; és a dir, s'ha de determinar la relació entre la tensió de sortida i la estimació de la distància. Els sensors d'aquest tipus tendeixen a una precisió del 2 al 5% al detectar objectes en moviment, sobre tot dins del 5 metres. (Wei et al., 2005) Les senyals proporcionades per aquests sensors solen ser sorolloses, i es requereixen sistemes de filtrat i d'altres tècniques per suavitzar les estimacions obtingudes.

Els factors ambientals tenen una gran repercussió sobre les mesures donat que les ones d'ultrasons es mouen per un medi material, l'aire. La densitat de l'aire depèn de la temperatura, influint aquest factor sobre la velocitat de propagació de la ona. Aquests tipus de dispositius són sensibles als forts vents i es pot perdre el senyal reflectit. (Auat & Carelli, 2013)

Un factor d'error molt comú és el conegut com a fals eco. Aquests falsos ecos es poden produir per diferents raons: pot ser el cas en què la ona emesa pel transductor es reflecteixi vàries vegades en diverses superfícies abans de tornar a incidir en el transductor, si es que ho fa. Aquest fenomen, conegut com a reflexions múltiples, implica que la lectura del sensor evidencia la presència d'un obstacle a una distància proporcional al temps transcorregut en el viatge de l'ona; és a dir, una distància molt més gran que a la que està en realitat l'obstacle més proper. Una altra font de falsos ecos és el *crosstalk*, es produeix quan s'utilitza un cinturó d'ultrasons on una sèrie de sensors treballen al mateix temps. En aquest cas pot ocórrer que un sensor emeti un pols i sigui rebut per un altre sensor que estigués esperant l'eco del pols que ella havia enviat amb anterioritat o al revés. (Gilaberte, 2003)

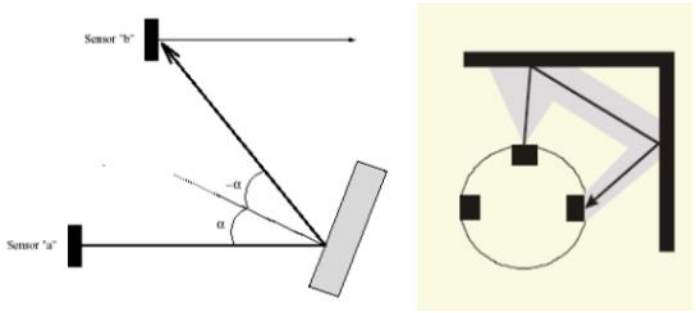


Figura 47. Efecte crosstalk, el sensor "a" emet un pols i el sensor "b" el rep (Gilaberte, 2003)

Les ones d'ultrasons obeeixen a les lleis de reflexió de les ones, pel que una ona d'ultrasons té el mateix angle d'incidència i reflexió respecte a la normal a la superfície. Això implica que si l'orientació relativa de la superfície reflectora respecte al eix del sensor d'ultrasons és major que un cert rang, el sensor mai rebrà el pols de so que va emetre.

Es podria considerar un avantatge a l'hora de treballar amb sensors ultrasònics el seu baix cost en relació amb la resta de sensors de percepció. Són immunes a condicions de clima hostil i la llum del sol. No els hi afecten els colors, les formes ni els estats en què poden estar els objectes -sòlid, líquid o gas- sempre que siguin deflectors del so. Un altre aspecte important és que tenen llarga durabilitat.

Els sensors ultrasònics s'han utilitzat per a l'orientació del robot mòbil durant molt temps. No obstant això, els vehicles autònoms que funcionen al exterior demanden l'ús de sensors amb major rendiment que detectin obstacles. El sensor d'ultrasons de la figura 50 es va proposar com a sistema d'alerta de seguretat per detectar objectes en moviment en les proximitats de màquines agrícoles.(Wei et al., 2005)

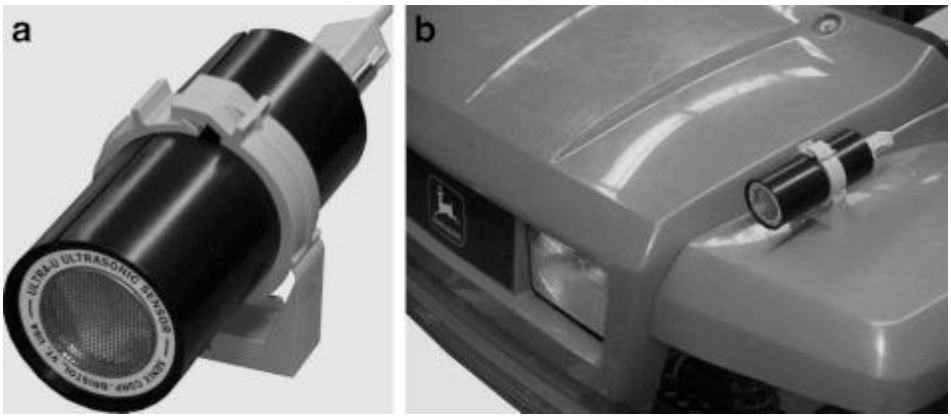


Figura 48.Sensor ultrasònic (a) utilitzat per un sistema d'alarma de seguretat d'un vehicle agrícola (b).(Wei et al., 2005)

2. Antecedents

El Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de precisió va desenvolupar una base mecànica tipus eruga, sense cap tipus d'element elèctric ni de comandament implementat. En el present treball s'utilitzarà aquesta plataforma amb els additius implementats pel Jan Pascual Alsina en la seva Tesi de Màster.

L'aplicació inicial per la qual està pensada la plataforma és per al transport en la seva superfície d'un sensor LIDAR i desplaçar-se entre fileres d'arbres fruiters, per a poder prendre mostres per al seu posterior anàlisi. A més, es vol donar a la plataforma total autonomia, aplicant un sensor GPS que permeti captar les posicions de la plataforma i a través de diferents càlculs, prendre la decisió del desplaçament adequat. D'aquesta manera, es vol millorar el procediment que s'estava portant fins ara.

Els components hardware utilitzats són variadors de freqüència, conversors, grup electrogen, encoders incrementals...entre d'altres. D'altra banda, s'utilitza un software, concretament LabVIEW i Matlab, per al disseny de la interfície de control i supervisió, i el protocol ModBUS-RTU per a establir comunicació entre els variadors de freqüència i el PC. A continuació es mostra una taula amb els components de la plataforma i les seves característiques bàsiques.

- *Components de la plataforma*

HARDWARE	
Motor-Reductor	Reductor de velocitat de vis sense fi-corona / Motor trifàsic asíncron
Ventilador	Refrigeració del grup moto-reductor
Variadors de velocitat	5,5 KW, 12 A, 400 V(3 fases).
Encoders incrementals	Encoder de 5000 polsos per revolució.
Mòdul NuDAM-6530	Conversor USB a RS-232/422/485. Per a comunicar el variador de freqüència amb el PC.
Mòdul NuDAM-6080	Obtenció de la lectura dels polsos generats per l'encorder incremental.
Botonera	Joysticks, polsador d'emergència, selector de posicions i polsadors per determinar el moviment simultani.
Grup electrogen	Desplaçament de la plataforma

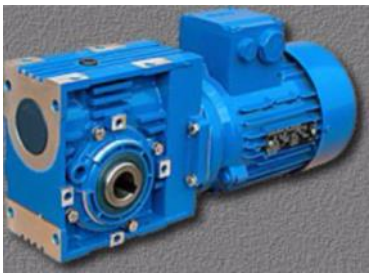


Figura 49.Moto-reductor instal·lat. MXE 86 100S 4

Figura 50.Plataforma amb el grup moto-reductor i ventiladors

Figura 51Encoder instal·lat. RI 58-D de Hengstler

Figura 52 Botonera actual

SOFTWARE
Protocol de comunicació MODBUS-RTU
LabVIEW

Es parteix d'una plataforma automotriu, on s'ha implementat un sistema de supervisió i control.

L'ús d'una botonera permet que es pugui sortir al exterior per a realitzar les tasques per les quals està dissenyada la plataforma. Però es necessita la presència constant d'un usuari, ja que la plataforma es desplaça amb el moviment de les botoneres provisionals per a controlar els motors.

Al mateix temps, la programació de la interfície mitjançant LabVIEW permet la visualització dels diferents paràmetres a controlar per a l'usuari de la interfície.

Per tal de poder dotar a la plataforma de màxima llibertat, caldrà canviar el sistema d'ordres de desplaçament (botonera) per un sistema amb el qual l'usuari no tingui que estar dirigint la plataforma. Aconseguir que a través de la programació en LabVIEW es faci possible la conducció de la plataforma sense l'ajut de cap persona en el camp.

3.Objectius

L'objectiu d'aquest treball és automatitzar el moviment d'una plataforma automotriu d'ús agrícola de manera que passi a ser una plataforma robòtica autònoma. Es parteix d'una plataforma automotriu guiada amb un joystick, explicada en el capítol anterior. L'objectiu principal és:

- Automatitzar la plataforma. Es pretén que la plataforma segueixi trajectòries de manera autònoma, a partir de les coordenades de destí introduïdes per l'usuari, les dades recollides a través d'un sensor GPS i amb una sèrie de càlculs de distàncies i posicions.

Per assolir aquest objectiu, es duran a terme les tasques següents:

- En primer lloc és necessari conèixer l'estat actual de la robòtica agrícola, i en especial, el referent als diferents sensors i sistemes de navegació que intervenen en màquines agrícoles autònomes.

- Familiarització amb la plataforma, ja que és necessari conèixer prèviament la posició dels diferents sistemes dins la plataforma i les dimensions de la mateixa per optimitzar el sistema.

- Familiarització amb el programa LabVIEW per a la realització dels algoritmes a implementar.

- Dissenyar i implementar algoritmes de navegació amb LabVIEW que permetin controlar i realitzar els moviments de la plataforma. Els algoritmes permetran controlar i supervisar i supervisar les diferents variables que intervenen en la navegació de la plataforma. D 'altra banda, els algoritmes hauran de permetre emmagatzemar dades referents a la trajectòria seguida per després poder extreure conclusions.

- Avaluació experimental i estudi dels algoritmes implementats.

4. Eines utilitzades

4.1.Eines Software

4.1.1. LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, de National Instruments) és un llenguatge de programació gràfic pel disseny de sistemes d'adquisició de dades, instrumentació i control. Va ser creat per National Instruments l'any 1976. LabVIEW permet dissenyar interfícies d'usuari mitjançant un programa executable final. LabVIEW és alhora compatible amb eines de desenvolupament similars i pot treballar amb programes d'altres àrees d'aplicació, com per exemple, Matlab. Té l'avantatge de que permet una fàcil integració amb hardware, específicament amb targetes de mesura, adquisició i processament de dades (incloent adquisició d'imatges). (Murphy, 2000).

Els programes fets amb LabVIEW s'anomenen VI (*Virtual Instrument*), degut a l'ús inicial del programari pel control d'instruments. És utilitzat tant per enginyers com per científics per a tasques com ara:

-Adquisició i generació de dades.
-Control d'instruments de laboratori (interns al PC o externs)
-Disseny de control: simulació, prototipatge ràpid, maquinari-en-el-llaç (HIL) i validació
-Robòtica
-Educació (enginyers electrònics/telecomunicacions/informàtics...), entre altres.

- *Característiques principals*

  Una de les característiques més importants és el tipus de programació que utilitza. Al ser un entorn de programació gràfica permet fer programes realment complexos.

  Una altra característica és la facilitat d'aprenentatge d'aquest. Ja que al tenir un entorn de programació gràfica permet fer desenvolupaments per a programador amb poca experiència.

- *Programació LabVIEW*

Con s'ha dit anteriorment, al ser una eina gràfica de programació, els codis no s'escriuen sinó que es dibuixen. Cada codi consta de dues parts:

-FRONT PANEL: Aquest és la interfície per interaccionar amb l'usuari quan s'està executant un programa. Els usuaris podran observar les dades del programa actualitzades a temps real. A més també es defineixen els controls i indicadors utilitzats com per exemple, entrades, sortides, etc.

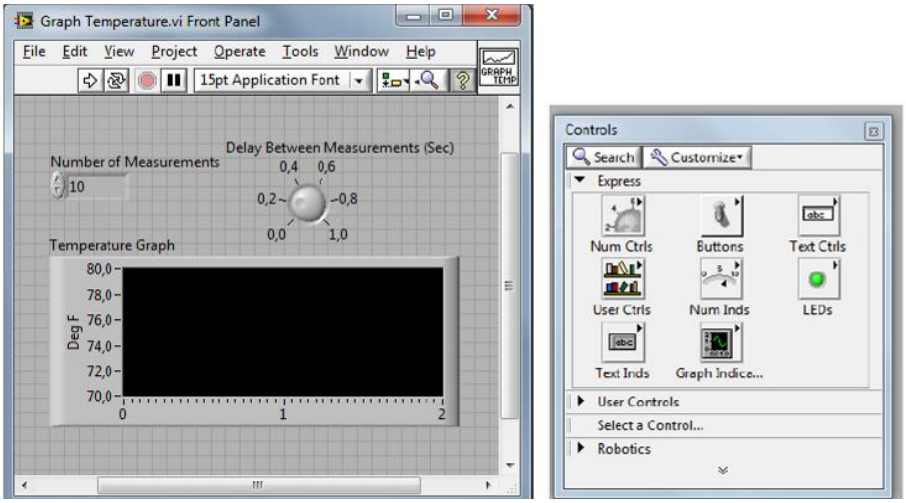


Figura 53. Exemple panell frontal (esquerra) i paleta de comandes (dreta)

-BLOCK DIAGRAM: És on es crea el programa. A partir de les eines que es poden trobar en el menú *functions*. A més trobarem tot tipus de controls o indicadors.

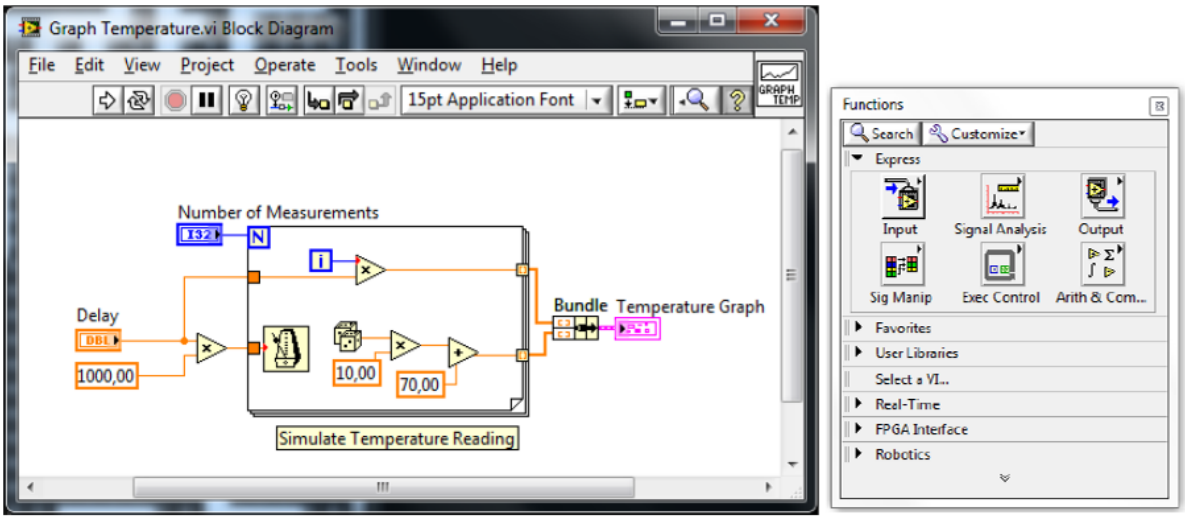


Figura 54. Exemple diagrama de blocs (esquerra) i paleta de funcions (dreta)

En LabVIEW les variables es representen mitjançant una figura, tant en el panell frontal com en el panell de programació, d'aquesta forma es pot observar la seva resposta en la interfície de l'usuari i en el flux de dades del codi del programa. (National Instruments, 2015)

- *Programació concurrent i seqüencial*

L'eina està dissenyada per a la programació concurrent, és a dir permet executar diferents tasques simultàniament, les quals poden ser un conjunt de processos d'un mateix programa.
A l'hora de la veritat, però, la computació concurrent només pot tenir lloc en una màquina amb més d'un processador. En les màquines d'un sol processador els diferents processos s'executen compartint el temps de processador, però no simultàniament. La programació concurrent posa especial èmfasi en la sincronització de processos i el seu ús compartit de la memòria.

Gràcies a aquest sistema podem combinar la programació gràfica i l'escrita, mantenint l'execució concurrent del programa excepte dins les caixes de codi seqüencial.

- *Beneficis*

Un dels principals beneficis respecte altres entorns de desenvolupament és el gran suport per a l'accés al maquinari d'instrumentació.

Un altre benefici, ja nombrat anteriorment, és la facilitat d'aprenentatge del programa. Sense cap tipus d'experiència en programació de llenguatge G i en poc temps és poden realitzar grans desenvolupaments.

I entre molts dels beneficis que té, la reutilització de codi n'és un altre. En aquest projecte se'n pot veure un exemple, ja que s'utilitza una part de codi d'un antic alumne de la UDL, per a la comunicació dels programes realitzats que s'exposen més endavant i la plataforma.

- *Disseny del control de comunicacions*

En aquest apartat es farà un breu descripció de la pantalla amb la que es controla la comunicació, desenvolupada en el TFM de Jan Pascual,.
Es mostren a continuació les dues primeres pestanyes que conformen el control, ja que les altres no s'utilitzen en el present treball.

En la següent figura es pot veure com es configura el port per connectar l'ordinador amb la plataforma així com els diferents paràmetres per a que aquesta funcioni correctament.

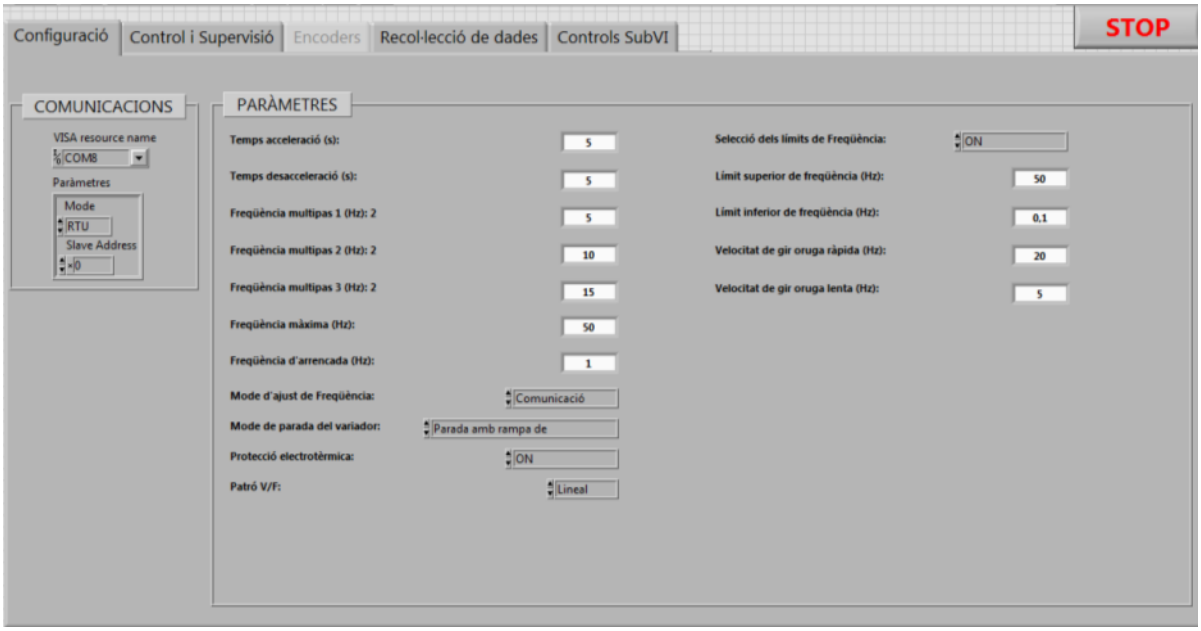


Figura 55. Pantalla principal de configuració

A continuació es mostra la figura principal amb la que interactuarà més l'usuari. En aquesta es pot elegir la configuració de la comunicació (1), si és a través del control de dades pel teclat, indicat amb els LEDs de control de color verd (2), control a través del joystick o el control a través de l'ordinador, utilitzant els codis dissenyats amb LabVIEW.

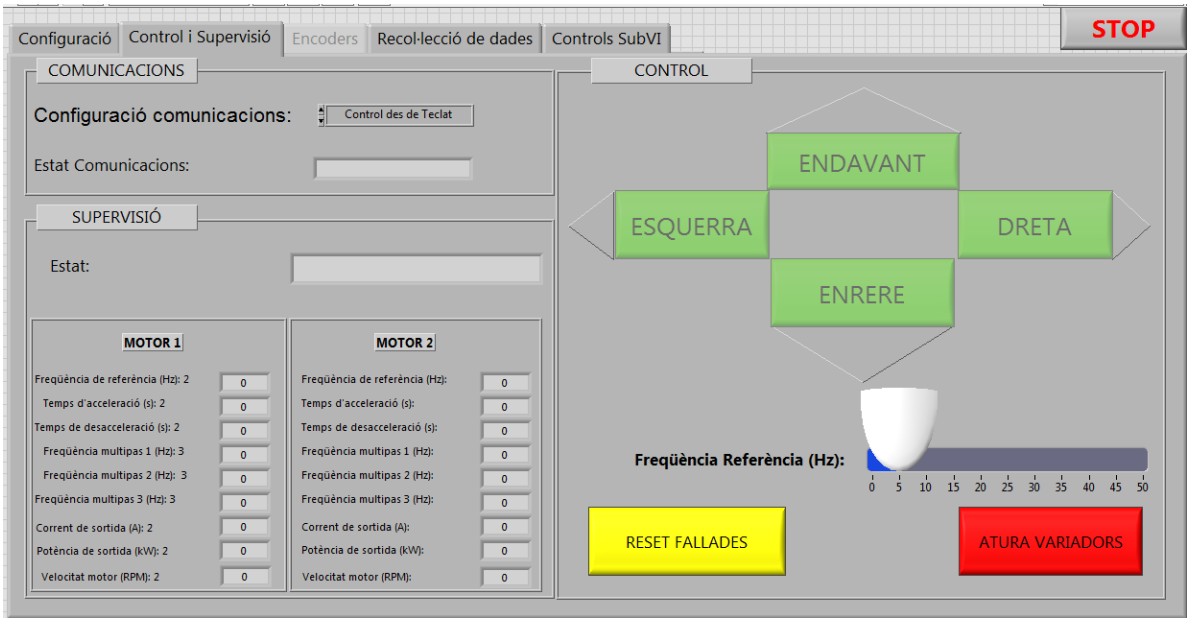


Figura 56. Pantalla de control i supervisió.

4.2.Eines Hardware

4.1.1. GPS utilitzat

El GPS utilitzat en aquest treball és el GPS RTK centimètric Leica 1200. Utilitza una tecnologia RTK per a una ràpida adquisició de satèl·lits, mesures d'alta precisió i per al seguiment a baixes elevacions. Té una interfície estandaritzada, amb un telat i una pantalla, una interfície intuïtiva, un potent gestor de dades, rutines a bord i programes. És molt lleuger i pesa 2,7 Kg. És resistent a l'aigua i robust. Suporta caigudes, cops vibracions, operar sota la pluja, la sorra i la neu i a temperatures de -40ºC fins a 65ºC. Pot ser transportat amb un pal, en una mini motxilla, instal·lat en un trípode...

Figura 57. GPS RTK centimètric Leica

Dades tècniques:

GPS1200+ receivers	GX1230+ GNSS/ ATX1230+ GNSS	GX1220+ GNSS	GX1230+	GX1220+	GX1210+
GNSS technology	SmartTrack+	SmartTrack+	SmartTrack	SmartTrack	SmartTrack
Type	Triple frequency	Triple frequency	Dual frequency	Dual frequency	Single frequency
Channels	120 channels L1/L2/L5 GPS L1/L2 GLONASS E1/E5a/ E5b/ Alt-BOC Galileo Compass[1] 4 SBAS	120 channels L1/L2/L5 GPS L1/L2 GLONASS E1/E5a/ E5b/ Alt-BOC Galileo Compass[1] 4 SBAS (with DGPS option)	16 L1 + 16 L2 GPS 4 SBAS	16 L1 + 16 L2 GPS 4 SBAS (with DGPS option)	16 L1 GPS 4 SBAS (with DGPS option)
Upgrade to GX1230+ GNSS	-	Yes	Yes	Yes	Yes

GPS1200+ receivers	GX1230+ (GNSS)/ GX1220+ (GNSS)	GX1210+	ATX1230+ GNSS
Ports	1 power port, 3 serial ports, 1 controller port, 1 antenna port		1 power/controller port, *Bluetooth*® Wireless-Technology port
Supply voltage, Consumption	Nominal 12 VDC 4.6 W receiver + controller + antenna		Nominal 12 VDC 1.8 W
Event input and PPS	Optional: 1 PPS output port 2 event input ports	Optional: 1 PPS output port 2 event input ports	
Standard antenna **Built-in groundplane**	SmartTrack+ AX1203+ GNSS Built-in groundplane	SmartTrack AX1201 Built-in groundplane	SmartTrack+ ATX1230+ GNSS Built-in groundplane

The following apply to all receivers except where stated.

Power supply	Two Li-Ion 4.4 Ah/7.4 V plug into receiver. One Li-Ion 2.2 Ah/7.4 V plugs into ATX1230+ GNSS and RX1250.
Plug-in Li-Ion batteries Same for GNSS and TPS	Power receiver + controller + SmartTrack antenna for about 17 hours (for data logging). Power receiver + controller + SmartTrack antenna + low power radio modem or phone for about 11 hours (for RTK/DGPS). Power SmartAntenna + RX1250 controller for about 6 hours (for RTK/DGPS)
External power	External power input 10.5 V to 28 V.
Weights	Receiver 1.20 kg. Controller 0.48 kg (RX1210) and 0.75 kg (RX1250). SmartTrack antenna 0.44 kg. SmartAntenna 1.12 kg. Plug-in Li-Ion battery 0.11 kg (2.2 Ah) and 0.2 kg (4.4 Ah) Carbon fiber pole with SmartTrack antenna and RX1210 controller: 1.80 kg. All on pole: carbon fiber pole with SmartAntenna, RX1250 controller and plug-in batteries: 2.74 kg.

Temperature	Operation: Receiver	-40° C to +65° C
ISO9022	Antennas	-40° C to +70° C
MIL-STD-810F	Controllers	-30° C to +65° C
	Controller RX1250c	-30° C to +50° C
	Storage: Receiver	-40° C to +80° C
	Antennas	-55° C to +85° C
	Controllers	-40° C to +80° C
	Controller RX1250c	-40° C to +80° C
Humidity	Receiver, antennas and controllers	
ISO9022, MIL-STD-810F	Up to 100 % humidity.	
Protection against water, dust and sand	Receiver, antennas and controllers: Waterpoof to 1 m temporary submersion.	
IP67, MIL-STD-810F	Dust tight	
Shock/drop onto hard surface	Receiver: withstands 1 m drop onto hard surface. Antennas: withstand 1.5 m drop onto hard surface.	
Topple over on pole	Receiver, antennas and controllers: withstand fall if pole topples over.	
Vibrations	Receiver, antennas and controllers: withstand vibrations on large construction machines. No loss of lock.	
ISO9022		
MIL-STD-810F		

SmartTrack+	Time needed to acquire all satellites after
Advanced GNSS	switching on: typically about 50 seconds.
measurement	Re-acquisition of satellites after loss of lock
technology	(e.g. passing through tunnel):
	typically within 1 second.
	Very high sensitivity: acquires more than 99 % of all
	possible observations above 10 degrees elevation.
	Very low noise. Robust tracking.
	Tracks weak signals to low elevations and
	in adverse conditions.
	Multipath mitigation. Jamming resistant.
	Measurement precision:
	Carrier phase on L1: 0.2 mm rms.
	On L2: 0.2 mm rms.
	Code (pseudorange) on L1 and L2: 20 mm rms.
SmartCheck+	Initialization typically 8 seconds.
Advanced, long range	Position update rate selectable up to 20 Hz.
RTK technology	Latency < 0.03 secs.
	Range 40 km or more in favorable conditions.
	Self checking.
Accuracies	Kinematic
	Horizontal: 10 mm + 1 ppm
	Vertical: 20 mm + 1 ppm
	Static (ISO 17123-8)
	Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm
	Vertical: 10 mm + 0.5 ppm
	Reliability: 99.99 % for baselines up to 40 km.
	Formats supported for transmission and reception:
	Leica proprietary (Leica, Leica 4G), CMR, CMR+,
	RTCM V2.1/2.2/2.3/3.0/3.1.
Reference station	RTK rover fully compatible with Leica's Spider
networks	i-MAX & MAX formats, VRS and Area Correction
	(FKP) reference station networks.
DGPS	DGPS, includes support of MSAS, WAAS, EGNOS
	and GAGAN.
GX1230+ (GNSS),	RTCM V2.1/2.2/2.3/3.0/3.1. formats supported for
ATX1230+ GNSS,	transmission and reception.
GX1220+ (GNSS) – standard	Baseline rms: typically 25 cm rms with suitable
GX1210+ – optional	reference station.
Position update rate	Applies to RTK, DGPS and navigation positions.
and latency	Update rate selectable from 0.05 sec (20 Hz)
	to 1 sec.
	Latency less than 0.03 secs.
NMEA output	NMEA 0183 V3.00 and Leica proprietary.
Post-processing with	Horizontal: 10 mm + 1 ppm, kinematic
Leica Geo Office	Vertical: 20 mm + 1 ppm, kinematic
software	Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm, static
All GPS1200+	Vertical: 10 mm + 0.5 ppm, static
receivers	For long lines with long observations
	Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm, static
	Vertical: 6 mm + 0.5 ppm, static
Notes on performance	Figures quoted are for normal to favorable
and on accuracies	conditions. Performance and accuracies can
	vary depending on number of satellites,
	satellite geometry, observation time, ephemeris,
	ionosphere, multipath etc.

Controllers	High contrast, 1/4 VGA display
	with colour option (RX1250)
RX1210/RX1250	Touch screen, 11 lines x 32 characters.
	Windows CE 5.0 on RX1250.
	Full alphanumeric QWERTY keypad.
	Function keys and user definable keys.
	Illumination for screen and keys.
	Can also be used with TPS1200+ for
	alphanumeric input and extensive coding.
Operation with	Via keypad and/or via touch screen.
controller	Graphical operating concept.
Same for GNSS and TPS	Function keys and user definable keys.
	All information displayed.
Displayed information	All information displayed: status, tracking,
	data logging, database, RTK, DGPS, navigation,
	survey, stakeout, quality, timer, power,
	geographical, cartesian, grid coordinates etc.
Graphical display	Graphical display (plan) of survey. Zooming.
of survey	Can access surveyed points directly via
Same for GNSS and TPS	touch screen.
Stakeout display	Graphical with zoom.
Same for GNSS and TPS	Digital, polar and orthometric.
	Accuracy: 10 mm + 1 ppm at 20 Hz (0.05 sec)
	update rate. No degradation with
	high update rates.
Operation	Automatic on switching on.
without controller	LED status indicators.
GX1200+ only	For reference stations and static measurements.
Data logging	On CompactFlash cards: 256 MB and 1 GB
Same cards used	Optional internal receiver memory:
for GNSS and TPS	256 MB.
Capacity	64 MB sufficient for (30 % less for GPS/GLONASS):
	About 500 hours L1 + L2 data logging
	at 15 sec rate.
	About 2 000 hours L1 + L2 data logging
	at 60 sec rate.
	About 90 000 RTK points with codes.
Data management	User definable job management.
Same for GNSS and TPS	Point identifiers, coordinates, codes,
	attributes etc.
	Search, filter and display routines.
	Multi point averaging.
	Five types of coding systems cover
	all requirements.
Coordinate systems	Ellipsoids, projections, geoidal models,
Same for GNSS and TPS	coordinate, transformations, transformation
	parameters, country specific coordinate systems.
	Fully support of RTCM 3.1 coordinate system transfer.
Application programs	Standard: Full range of COGO functions.
Same for GNSS and TPS	Hidden point.
	Optional: RoadRunner, Reference Line,
	DTM Stakeout, Reference Plane, Area Division
	and X-Section Survey, DXF Export,
	LandXML Export and Volume Calculations
Programmable	User programmable in GeoC++.
Same for GNSS and TPS	Users can write and upload programs for their
	own special requirements and applications.
Communication	One or two of the following devices can be
Data links	connected: Radio modem, GSM, GPRS, CDMA.
	Different frequencies and/or formats can be
	received and transmitted.
	Time slicing is supported.

4.1.2. LIDAR utilitzat

El LIDAR que es podria utilitzar en un futur per al correcte funcionament de la plataforma a l'hora de detectar obstacles, és el URG-04LX de HOYUKO.

Aquest és un sensor pensat pel reconeixement d'entorns.

Figura 58. Lidar URG-04LX

Dades tècniques:

Font d'alimentació	5VDC ±5%
Corrent consumida	500mA o menys (800mA quan s'inicia)
Àrea de mesura	60-4095mm / 240^0
Precisió	60-1000mm: ±10mm, 1000-4095mm: 1% de mesura
Repetibilitat	60-1000mm: ±10mm
Resolució angular	Angle de pas: 0.36^0 aproximadament
Font de llum	Diode làser semiconductor (λ= 785nm), Laser safety class 1(IEC60825-1, 21 CFR 1040.10 & 1040.11)
Temps d'escaneig	100ms/escaneig
Soroll	25dB o menys
Interfície	USB, RSC-232C(19.2k, 57.6k, 115.2k, 250k, 500k, 750kbps), NPN open-collector*(synchronous output of opticalscanner : 1 pce)*
Especificacions de comunicació	Comandes exclusives (SCIP Ver.1.1 or Ver.2.0)[*2]
Temperatura ambient i humitat	-10 a 50^o C, el 85% o menys (no condensació, no gel)
Resistència a la vibració	10 a 55Hz, doble amplitud 1,5 Mm cada 2 hores amb X, Y i Z
Resistència a impactes	$196m/s^2$, cada 10 vegades en les direccions X, Y i Z
Pes	160 grams aproximadament
Accessoris	Cable per la font d'alimentació, Connector USB amb 9 pins

Avantatges

Té una alta precisió i resolució. La seva amplitud angular de visió ofereix la millor solució per als robots autònoms en un entorn desconegut.

La seva mida compacta permet una major llibertat. Té un pes més lleuger que d'altres i el baix consum contribueix a poder realitzar operacions durant un temps llarg.

Bon rendiment en ambients foscos.

Aplicacions

- Reconeixement autònom del entorn ambiental
- Detecció d'invasions i infiltrats en edificis (antirrobatoris)
- Detecció de persones en portes automàtiques / anàlisi de la conducta de les persones
- Detecció d'obstacles en indústries i processos de fabricació

A l'hora d'utilitzar aquest sensor, s'obté una matriu d'angles, que van des dels -120º als 120º positius, i distàncies. Aquests valors serveixen per detectar obstacles que es troba la plataforma durant el seu camí des d'un punt a un altre.

5. Disseny dels algoritmes de navegació

5.1. Descripció general dels algoritmes

S'han creat dos algoritmes diferents (algoritme 1 i algoritme 2) per a poder controlar la navegació de la plataforma, ja que l'objectiu a complir és que la plataforma es desplaci d'un punt inicial a un punt final (marcat per l'usuari) utilitzant les dades proporcionades pel GPS.

S'han plantejat dos algoritmes per tal de comparar dos formes diferents de càlcul. A partir de la implementació de dos codis diferents, es podran observar els beneficis que aporten cadascun d'ells i experimentar amb la plataforma des de dos punts de vista diferents.

D'una banda, l'algoritme 1 es basa en fer el càlcul de dos vectors que a partir d'anar comparant les seves components constantment, defineix la trajectòria a seguir per la plataforma. Un d'aquest vectors s'anomena vector direcció,$\overrightarrow{V_{dir}}$,i és la diferència entre la posició inicial i la posició final de la plataforma i per tant, té una magnitud i direcció constants. L'altre s'ha anomenat vector actual,$\overrightarrow{V_a}$,i és la diferència entre la posició actual i la posició inicial de la plataforma, aquest vector s'anirà actualitzant a mida que la posició actual de la plataforma vagi canviant. Les coordenades dels dos vectors s'aniran comparant fins que siguin proporcionals. Un cop es compleix aquest condició la plataforma haurà assolit la direcció correcta per anar al punt final.

D'altra banda, l'algoritme 2 es basa en analitzar l'angle format entre el vector orientació $\vec{v}$, que és la diferència entre la posició actual i la immediatament anterior, i el vector distància actual $\vec{d}$, que és aquell que indica la diferència entre el punt final on es vol arribar i la posició de la plataforma en cada moment. La principal funció d'aquest algoritme és que a partir de l'angle entre els dos vectors, es determina si la plataforma ha de girar cap a la dreta o cap a l'esquerra. Depenent del valor del vector orientació, s'indica la posició del punt final respecte la plataforma, i el vector distància indicarà a quina distància es troba la plataforma del punt de destí.

Per tal d'explicar els dos algoritmes d'una manera més senzilla, s'utilitzaran varies figures on la plataforma es simbolitza de la següent manera:

Figura 59. Simbologia de la plataforma.

El quadrat verd simbolitza la plataforma, el quadrat negre és la part de davant d'aquesta i per tant les nomenclatures MD i ME, indiquen els motors dret i esquerre respectivament.

5.1.1. Variables comunes als dos algoritmes

Els dos algoritmes tenen algunes parts en comú, ja que tots dos tenen la mateixa finalitat, per tant s'ha considerat oportú explicar-les conjuntament.
Tots dos programes no entren en el bucle dels càlculs fins que no sigui ordenat per l'usuari, clicant el botó de INICI NAVEGACIÓ. Quan aquesta variable sigui certa, entra en el bucle on hi ha inclosos tots els càlculs necessaris per al desplaçament. A continuació es configura la comunicació amb la qual es vol realitzar el moviment; comunicació des de PC, des de teclat o amb el joystick i seguidament s'han establert les velocitats de gir de l'eruga, lentament i ràpida. S'ha imposat una espera de 2 segons per a que la lectura del GPS sigui la correcta i hi hagi el menor numero d'errors possibles.

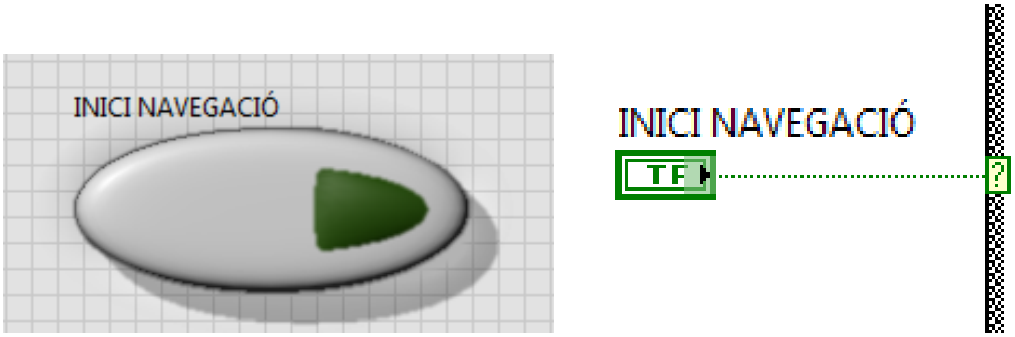


Figura 60. LED i variable indicadors de què l'usuari inicia la navegació

Una vegada s'ha indicat que es vol iniciar la navegació, cal seleccionar el tipus de control amb el què es vol treballar. En aquest cas, per utilitzar els algoritmes, la configuració de la comunicació entre l'ordinador i la plataforma és un control des de PC.

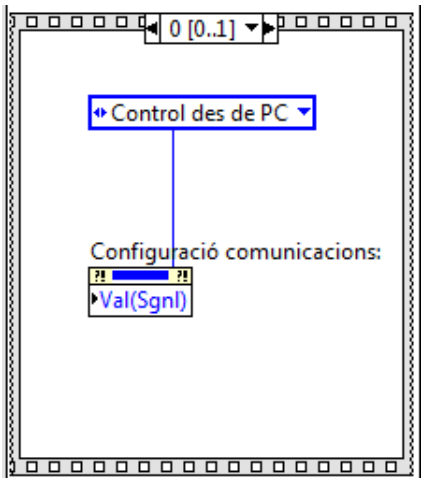


Figura 61. Configuració de comunicacions

En els dos algoritmes s'utilitzen bucles *while* per l'execució del programa. Dintre d'aquests bucles, s'implementen unes estructures condicionals, per comparar els valors entre les distàncies i vectors calculats, depenent de la posició de la plataforma. Cada cas s'explicarà més endavant.

Abans d'executar el programa, s'han creat uns marges per a les diferents situacions en les què es trobarà la plataforma. Aquests marges són per la distància, freqüència de moviment i l'orientació de la plataforma. D'aquesta manera, es dóna un marge d'error entre els càlculs i les coordenades agafades pel GPS, ja que agafa els valors amb molta precisió i és difícil que les coordenades finals siguin exactament iguals a les de destí definides prèviament.

-Marge distància arribada: Aquest valor de distància, en metres, serveix per indicar que la plataforma es troba gairebé en el punt final. En els assajos realitzats (capítol 6) s'ha fixat a un valor de 0,5 metres (aquest valor és introduït per l'usuari). Això indica que si la plataforma es troba en una posició amb un valor més petit o igual que 0,5 metres, es considera que es troba sobre el punt de destí, i per tant, la plataforma es pararà. Més endavant s'explicarà amb més detall la funcionalitat d'aquest valor de distància pels dos algoritmes.

-Marge distància canvi de velocitat: Amb aquest marge, valor introduït per l'usuari, en metres, s'indica que la plataforma es troba propera al punt final. Tal i com el seu nom indica, si la posició en aquell moment de la plataforma té una valor més petit o igual que aquest valor, aquesta es desplaçarà més lentament, canviarà de velocitat. És a dir, mentre que la posició de la plataforma estigui compresa entre els dos marges de distància, la plataforma es mourà a una freqüència més lenta, que es definirà més endavant.

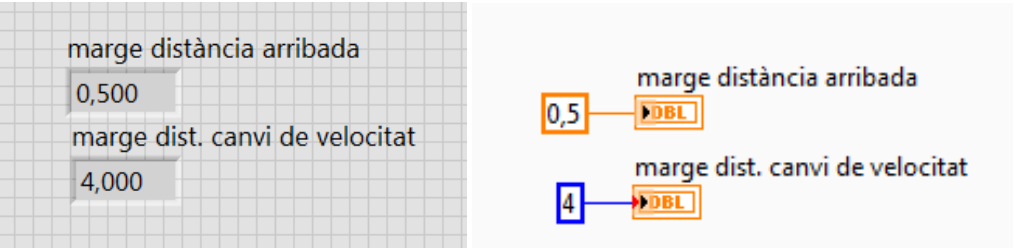


Figura 62. Marges de distància que defineixen la velocitat de desplaçament de la plataforma

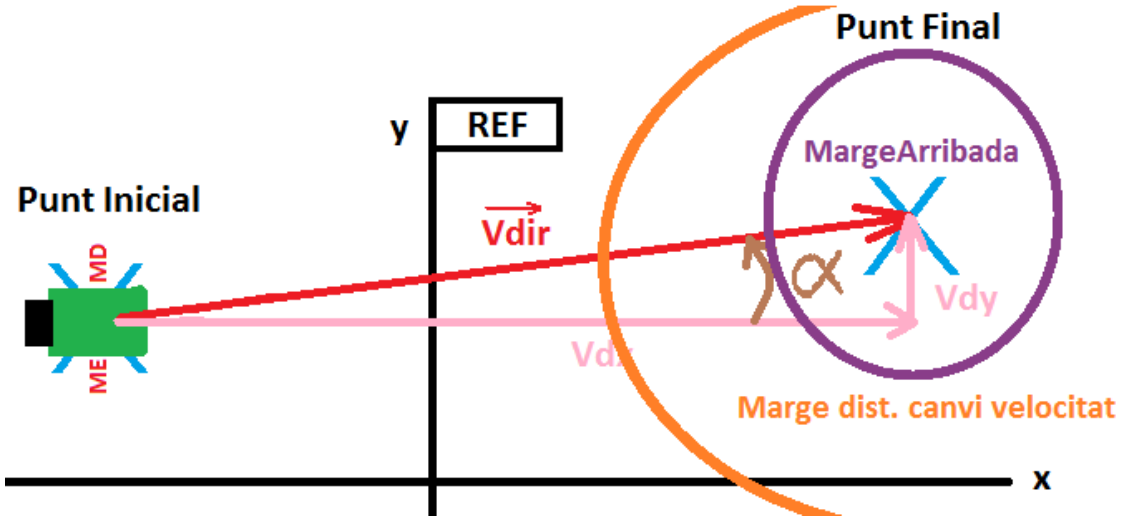


Figura 63. Representació dels marges de distància per definir les velocitats.

Freqüència velocitat lluny / a prop: Aquestes freqüències indiquen a quina velocitat es desplaçarà la plataforma, depenent de la seva posició respecte el punt final. Aquestes són definides prèviament per l'usuari. Quan la plataforma es troba propera al punt final, es mourà a una freqüència més lenta, mentre que si es troba lluny, es mourà a major freqüència. Cal indicar que totes les freqüències introduïdes en aquests algoritmes, en Hz, fan referència a freqüències de gir dels motors d'inducció (control a través dels variadors) i estan directament relacionades amb la seva velocitat.

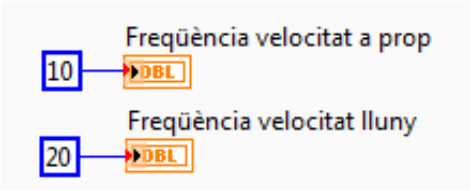


Figura 64. Valors de freqüència de moviment de la plataforma

-Velocitat de gir eruga lenta / ràpida: Les dos freqüències de gir venen predeterminades, igual que la freqüència de velocitat quan la plataforma es mou endavant. S'ha assignat un valor de 5Hz per la freqüència lenta i 20Hz per la ràpida. Aquests valors són fixats abans de començar el bucle del programa amb els càlculs per als moviments, dintre d'un *Stacked Sequence*.

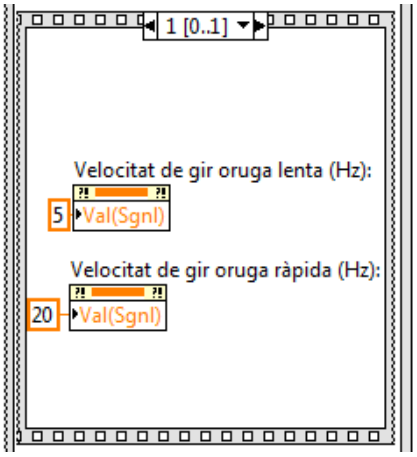


Figura 65. Determinació de les variables en el panell de control

5.1.2. Comunicació amb el GPS

La primera part dels dos algoritmes és un bucle que consisteix en la comunicació amb el GPS. Després d'haver aconseguit la comunicació amb el GPS utilitzat i d'haver indicat que s'inicia la navegació, s'entra en un bucle on s'ha afegit un recol·lector de dades de tipus txt. Aquest arxiu guarda 20 posicions de la plataforma cada segon i el temps de moviment. Cada vegada que s'inicia la navegació, es reemplaça l'arxiu anterior pel del nou moviment, per tal d'evitar solapament entre les dades agafades. Amb aquestes dades es podrà comprovar la trajectòria que segueix la plataforma, i que servirà per extreure conclusions dels dos algoritmes que s'han implementat, i decidir quin dels dos és més precís, o amb quin es mou amb més rapidesa...

Aquest bucle, com s'ha dit anteriorment, és comú als dos algoritmes. El tros de codi que falta es completa amb el càlcul de la posició de la plataforma respecte el punt final. Aquest càlcul és diferent en els dos algoritmes.

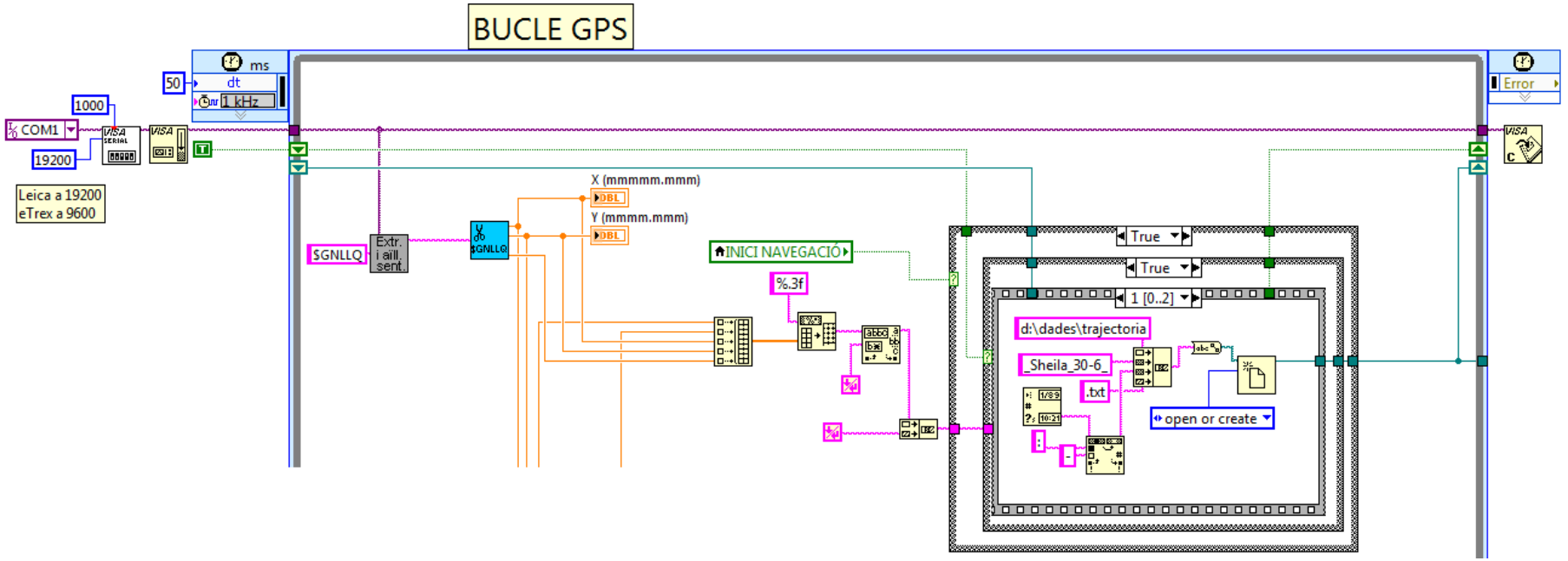


Figura 66. Bucle GPS

En el cas de l'algoritme 1, inclou la següent figura.

Sabent la posició actual i la posició final de la plataforma, es calcula la distancia i es comprova si aquesta és menor al marge distància arribada (variable entrada per l'usuari a través de l' interfície). Si és així, la plataforma s'aturarà. En cas contrari aquesta continuarà amb el codi establert, explicat més endavant.

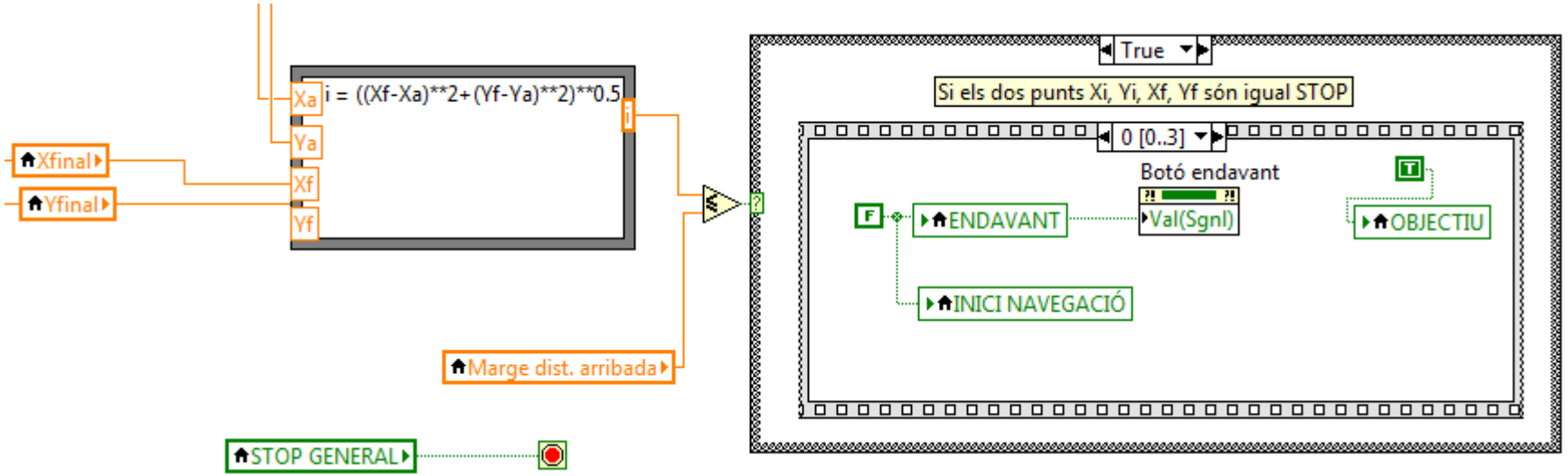


Figura 67. Codi de la part del GPS per l'algoritme 1.

En l'algoritme 2 es realitza el càlcul de la distància entre el punt actual de la plataforma i el punt objectiu final. Si aquest valor és més petit que el marge distància arribada, la plataforma s'aturarà. Si pel contrari el valor és més gran, seguirà el codi del algoritme 2, que s'explicarà més endavant.

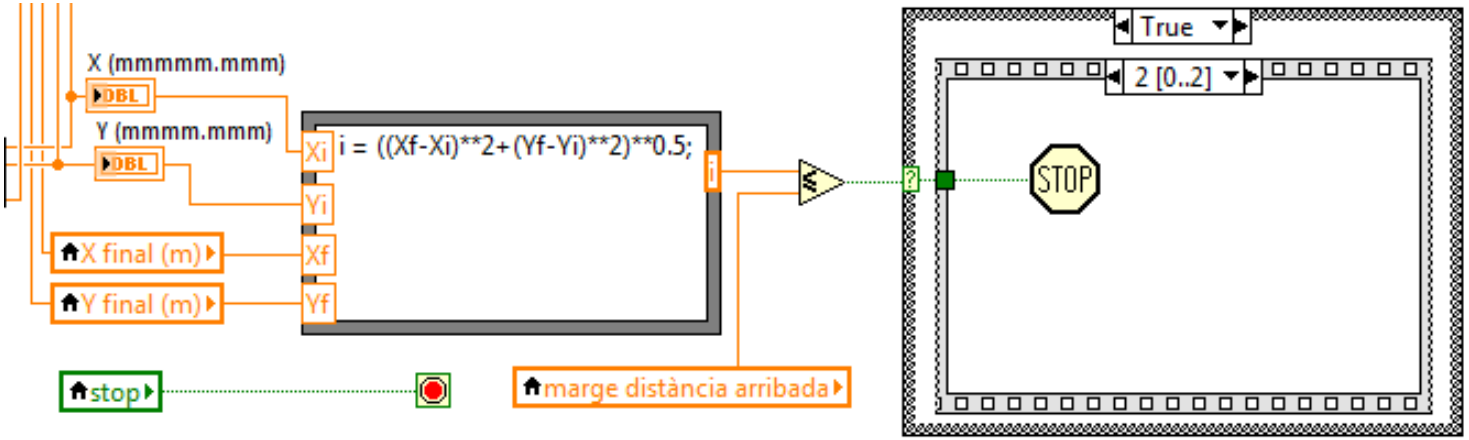


Figura 68. Codi de la part del GPS per l'algoritme 2

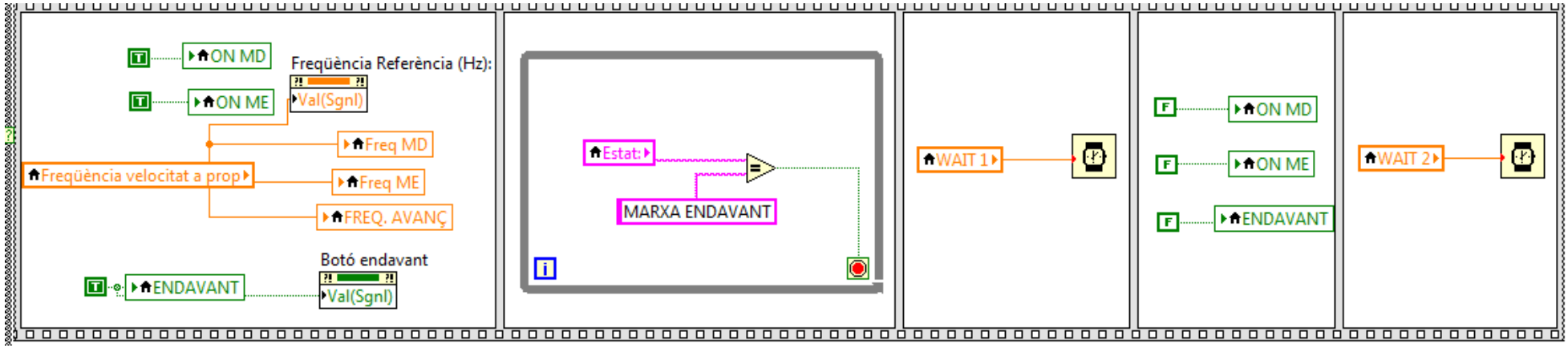


Figura 69. Seqüència de moviment i variable "Estat"

- Variable "Estat": En la figura anterior es pot veure que s'ha creat aquesta variable *Estat.* Els *Wait* definits anteriorment bloquegen el programa. D'aquesta manera, no es pot comprovar la posició real de la plataforma fins que no pari de desplaçar-se. Amb aquesta comparació, es pot saber en tot moment la posició de la plataforma. Aquesta comparació es fa en el primer desplaçament definit en l'algoritme. En un bucle *while* s'indica que, fins que la variable "Estat" (definida en la part del programa del Jan) no sigui igual a MARXA ENDAVANT, la plataforma no sortirà del bucle, i continuarà amb la seqüència de moviment definida anteriorment.

Primer, es dóna la ordre d'avançar a la freqüència determinada, i s'activen els LEDs que indiquen aquest moviment assignat.

En segon lloc, s'entra en aquest bucle amb la comprovació de la variable "*Estat",* ja que aquesta inicialment té l'estat PARAT perquè la plataforma esta en repòs. Un cop s'inicialitza el codi amb 'Inici de navegació', la variable estat comprova que la plataforma tingui l'ordre de MARXA ENDAVANT, així igualant-se amb la variable "Estat" i d'aquesta manera el bucle *while* és compleix i surt d'aquest continuant amb el següent frame on hi ha un *wait,* amb un valor introduït per l'usuari.

Un cop ha passat el temps definit, es desactiven els LEDs, per indicar que la plataforma ha acabat de fer el desplaçament. No s'indica que pari els motors, ja que així s'estalvia una comunicació ordinador-plataforma i també temps de moviment. Per últim, es fa una segona espera, amb el temps determinat també per l'usuari, afegit per tal d'evitar que el programa avanci massa ràpid i no respongui adequadament.

5.1.3. Interfície amb l'usuari

A continuació es mostren els dos panells frontals del Labview. És la interfície amb la que interactua l'usuari. En ella es poden veure totes les variables d'un cop d'ull i a més a més introduir els valors de les variables explicades anteriorment. Primer es mostra la pantalla frontal de l'algoritme 1 i a sota la de l'algoritme 2.

Per indicar de manera visual el moviment que fa la plataforma, en els dos panells s'han col·locat 4 LEDs que s'encenen de color verd, indicant el desplaçament que fa la plataforma –endavant, dreta, esquerra o endarrere. Al mateix temps, els LEDs ON MD i ON ME mostren quan es mou la plataforma, i amb les variables Freq ME i Freq MD s'indica a quina velocitat es mourà, que concordarà amb el LED encès.Una vegada es dóna el cas en què la plataforma ha arribat al punt final, s'ha arribat al punt objectiu, i el LED "Objectiu assolit" indicarà aquest fet.

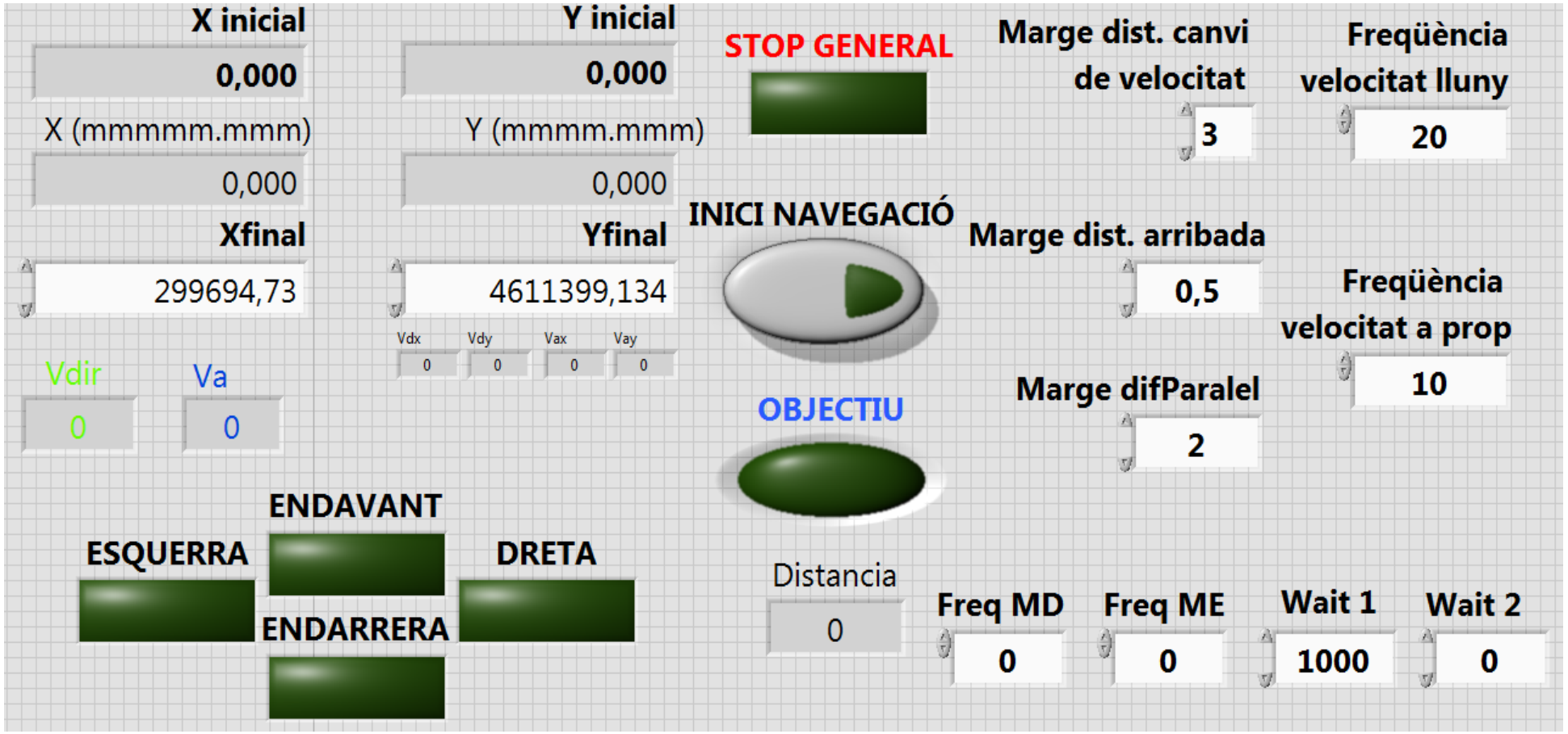


Figura 70. Visualització de les variables des del Panell Frontal de l'algoritme 1.

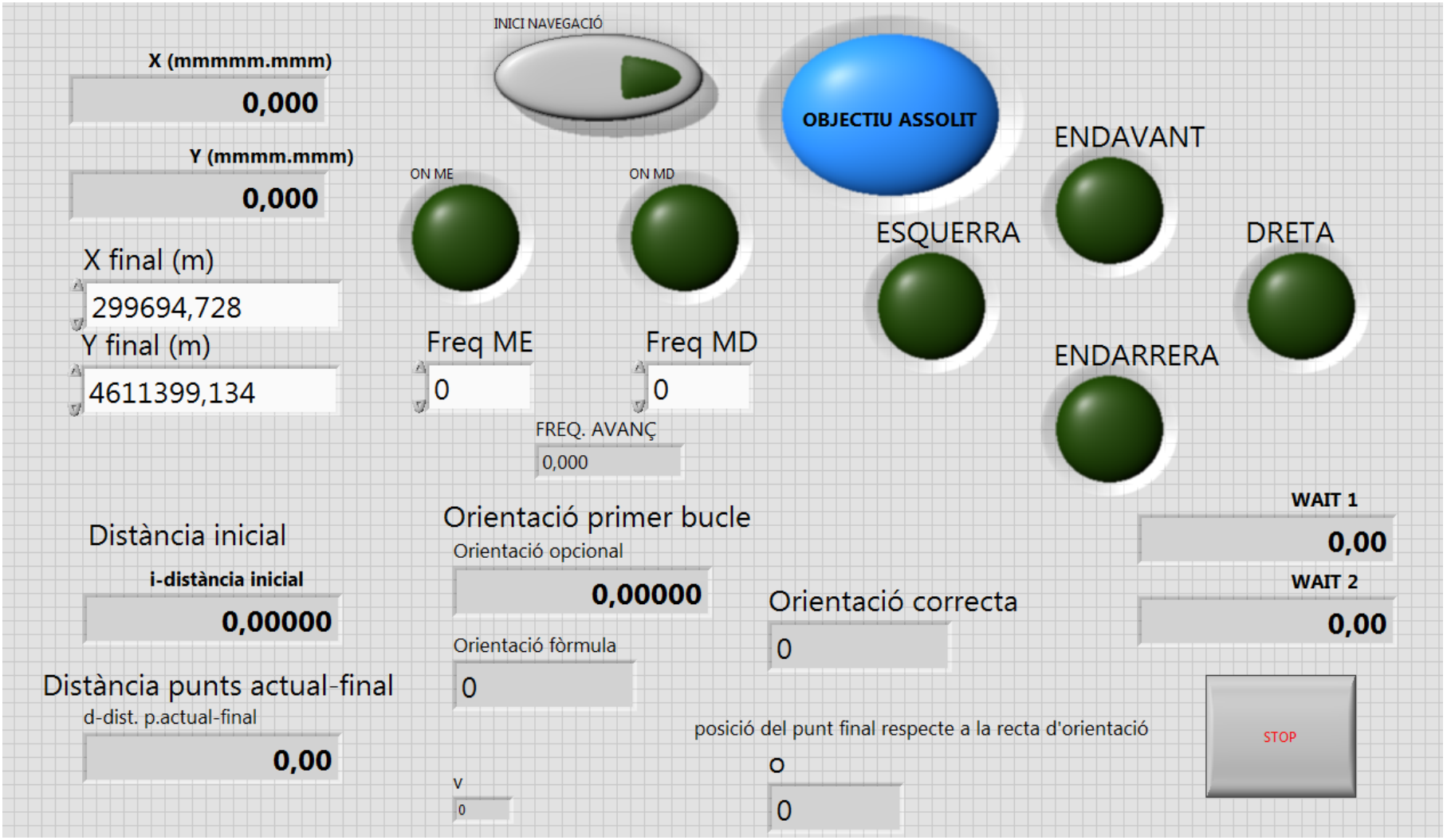


Figura 71. Visualització de les variables des del Panell Frontal de l'algoritme 2.

5.2. Algoritme 1

5.2.1. Definició de variables utilitzades

En aquesta secció s'explica el codi realitzat en LabVIEW.

Primer de tot el programa comença amb la inicialització del GPS i la lectura de les coordenades inicials d'aquesta, tal i com s'ha explicat anteriorment.

A continuació es comprova si la plataforma ja està en la posició final introduïda per l'usuari prèviament. Per aquest càlcul s'utilitza la posició actual i la posició final descompostes en x i y i la variable Marge dist. Arribada explicada anteriorment (introduïda per l'usuari) (càlculs fets en metres).

$$Marge\ dist.Arribada \leq X_{final} - X_{actual} \leq Marge\ dist.Arribada$$

Equació 1. Càlcul realitzat per al primer desplaçament

En cas que el càlcul anterior (s'utilitza com a condició) sigui cert, es para la plataforma perquè aquesta considera que es troba dins el rang calculat.

En cas contrari, la plataforma realitzarà un moviment endavant amb una velocitat de moviment més lenta, independentment de l'orientació ja que aquesta encara no se sap.

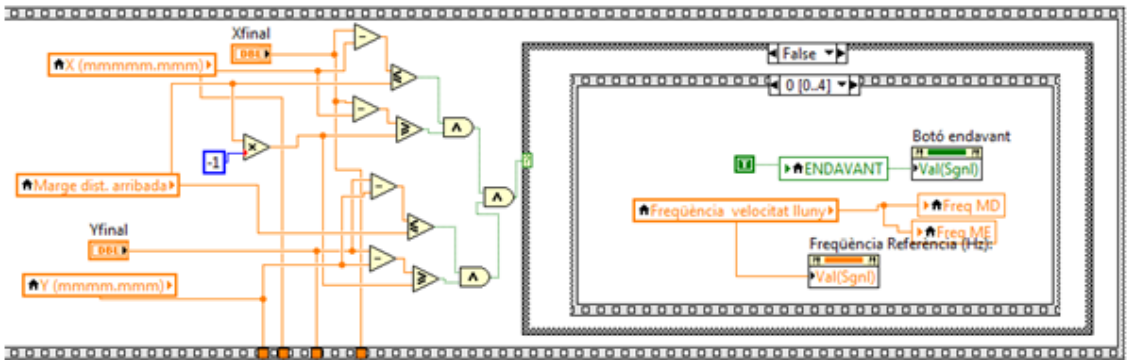


Figura 72.Càlcul de comprovació de la plataforma i primer desplaçament.

A continuació es mostra una figura on es pot veure el primer desplaçament realitzat per la plataforma.

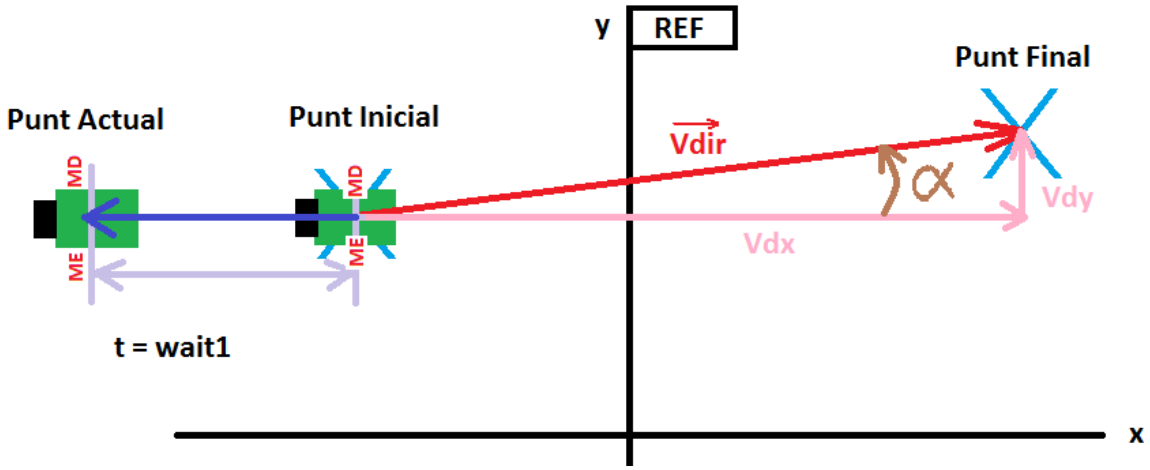


Figura 73. Diagrama de simulació del primer desplaçament de la plataforma.

Un cop s'ha realitzat el primer moviment ja és té una nova posició, posició actual. I es fan un seguit de càlculs de diverses variables. Variables calculades:

-Vdx : distància del punt inicial al punt final en x, component x de Vdir.(metres)

$$V_{dx} = X_f - X_i$$

Equació2.Càlcul de Vdx.

- Vdy: distància del punt inicial al punt final en y, component y de Vdir.(metres)

$$V_{dy} = Y_f - Y_i$$

Equació3.Càlcul de Vdy.

- Vax: distància del punt inicial al punt actual (posició actual de la plataforma) en x, component x de Va. (metres)

$$V_{ax} = X_a - X_i$$

Equació4.Càlcul de Vax.

- Vay: distància del punt inicial al punt actual (posició actual de la plataforma) en y, component y de Va. (metres)

$$V_{ay} = Y_a - Y_i$$

Equació5.Càlcul de Vay.

-Vdir: càlcul del mòdul vector director. (metres)

$$V_{dir} = \sqrt{(X_f - X_i)^2 + (Y_f - Y_i)^2}$$

Equació 6. Càlcul del mòdul de Vdir.

- Va : càlcul del mòdul vector actual. (metres)

$$V_a = \sqrt{(X_a - X_i)^2 + (Y_a - Y_i)^2}$$

Equació 7. Càlcul del mòdul de Va.

A continuació es mostra una figura on es poden veure les variables explicades anteriorment.

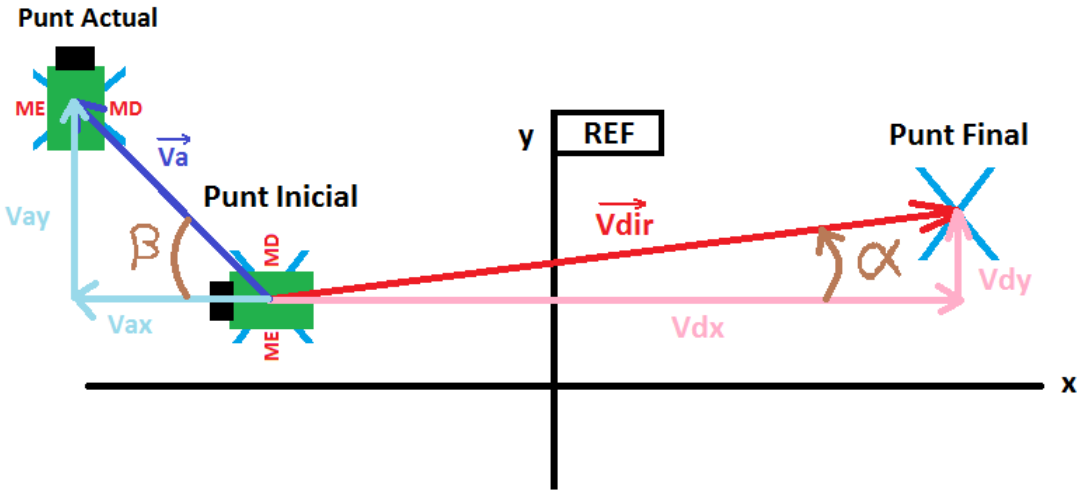


Figura 74. Diagrama on s'observen els punts, inicial, final i actual i totes les seves components.

- d : diferència dels mòduls Vdir i Va. (metres)

$$d = V_{dir} - V_a$$

Equació 8.Càlcul de la distància que ha de recórrer.

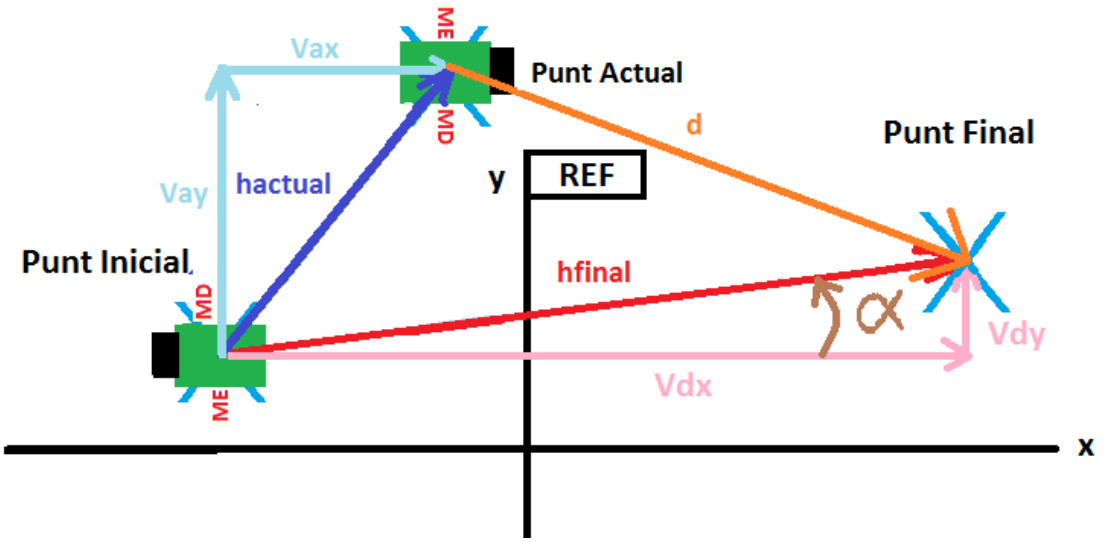


Figura 75. Diagrama on s'observa la plataforma encarada cap al costat oposat del punt final i és mostra la distància (d) que ha de recórrer, des de el punt actual.

- Beta: (graus) Angle respecte el vector actual. ($\overrightarrow{V_a}$,vector actual es forma amb la posició inicial i actual). S'ha de multiplicar per $\frac{180}{\pi}$, ja que el LabVIEW fa els càlculs en radians.

$$\beta = \text{acos}\left(\frac{Vax}{Va}\right) * \frac{180}{\pi}$$

Equació 9.Càlcul de l'angle beta.

- Alfa (graus): Angle respecte el vector director ($\overrightarrow{V_{dir}}$, vector director es forma amb la posició inicial i actual). S'ha de multiplicar per $\frac{180}{\pi}$, ja que el LabVIEW fa els càlculs en radians.

$$\alpha = \text{acos}\left(\frac{Vdx}{Vdir}\right) * \frac{180}{\pi}$$

Equació 10.Càlcul de l'angle alfa.

A continuació es mostren els angles Alfa i Beta. També s'han fet 2 càlculs més per quan la plataforma es troba en el 2n i 3er quadrant. Ens aquest casos es resta 180°.

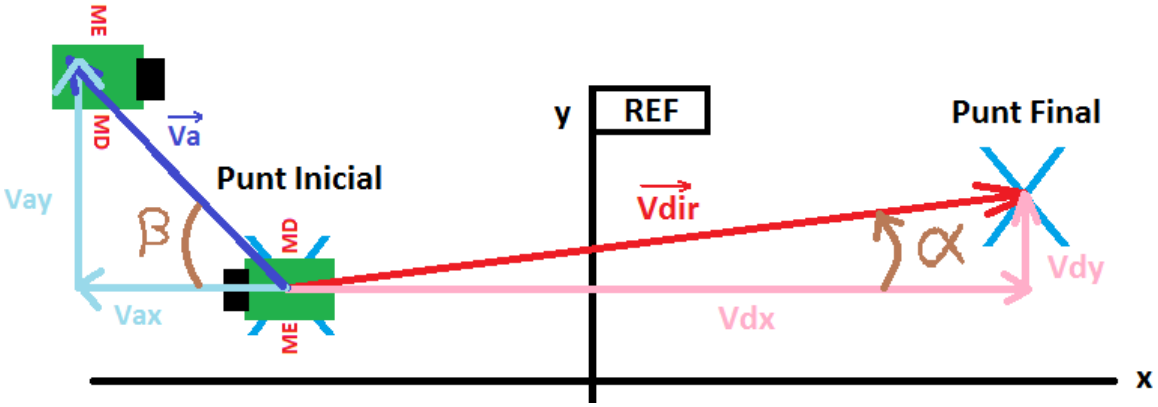


Figura 76. Diagrama on es mostren les variables Alfa i Beta.

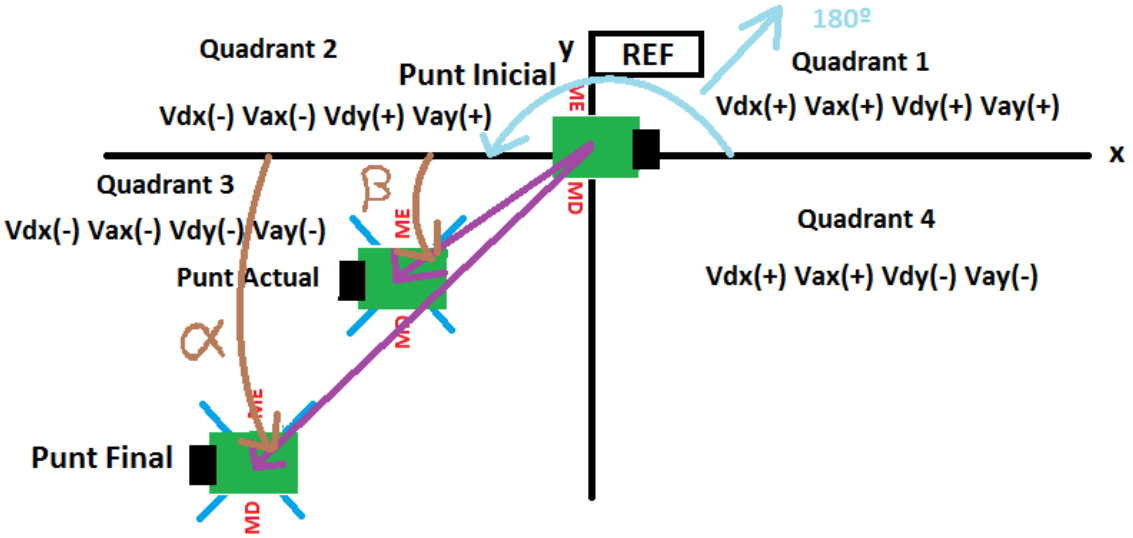


Figura 77. Representació del càlcul realitzat quan la plataforma es troba en el quadrant . En el quadrant 2 seria el mateix cas.

- PropX: Càlcul per les coordenades en x, dels dos vectors, per a després calcular la proporcionalitat.

$$PropX = \frac{Vdx}{Vax}$$

Equació 11.Càlcul de la diferència de distància en les coordenades X.

- PropY: Càlcul per les coordenades en y, dels dos vectors, per a després calcular la proporcionalitat.

$$PropY = \frac{Vdy}{Vay}$$

Equació 12.Càlcul de la diferència de distància en les coordenades Y.

-DifParalel: és una variable que s'utilitza per veure la diferencia que hi ha per a que els dos vectors siguin proporcionals. S'utilitza com a rang entre una variable introduïda per l'usuari, anomenada Marge difParalel.

$$difParalel = PropX - PropY$$

Equació 13.Càlcul de la diferència de proporcionalitat.

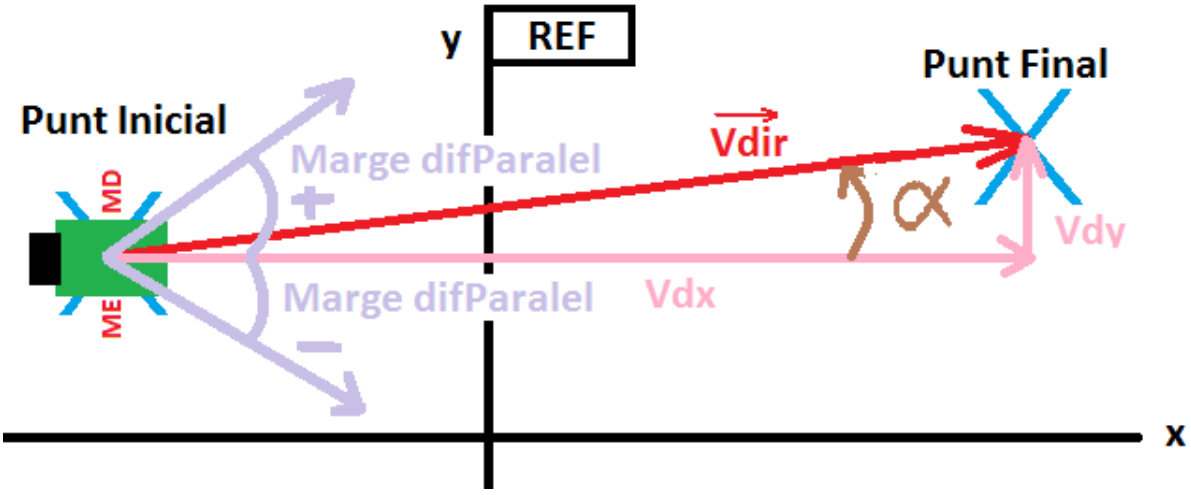


Figura 78. Diagramaon es mostra el rang que crea la variable MargeDifParalel.

A continuació es mostra una figura dels càlculs que es realitzen al LabVIEW, explicats anteriorment.

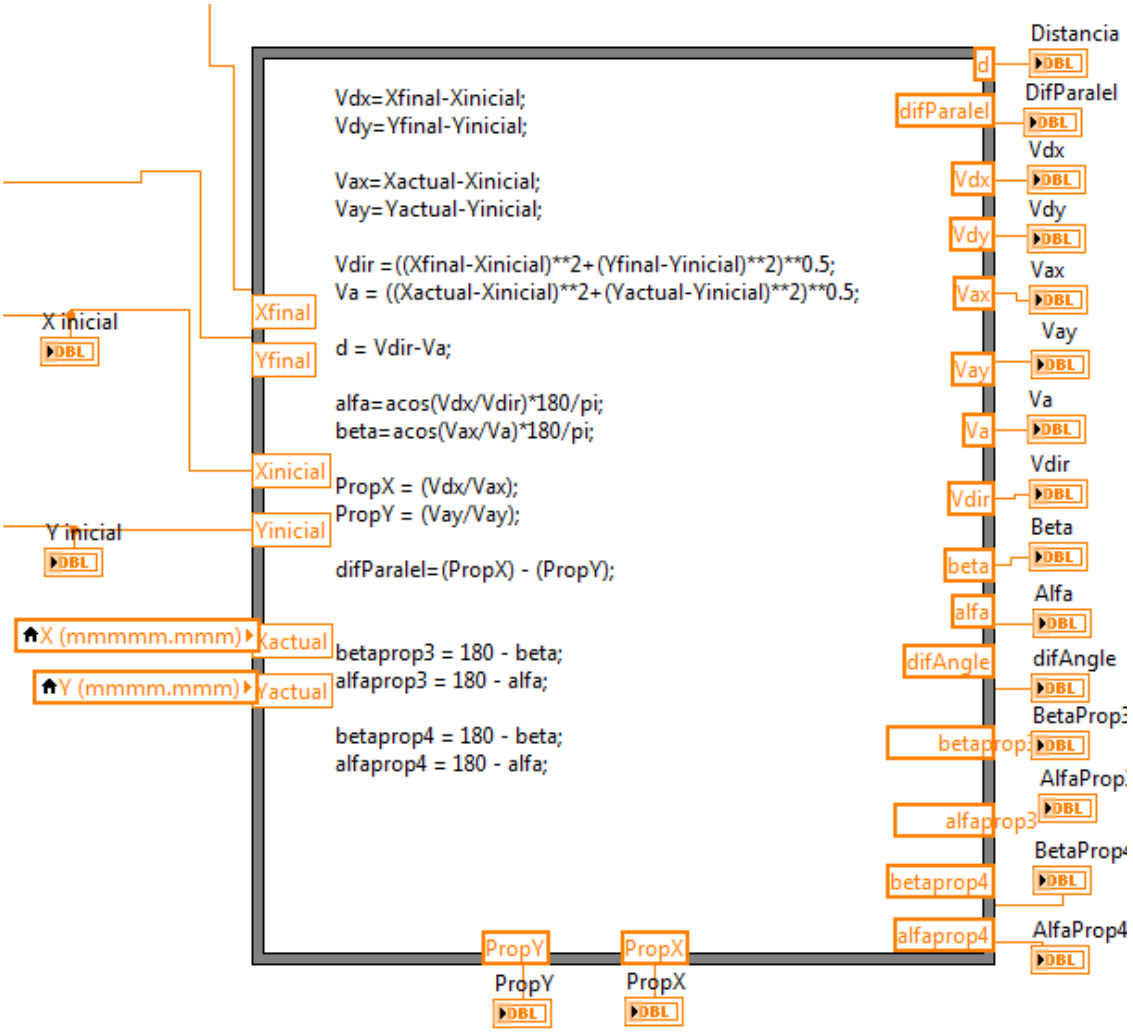


Figura 79. Representació de tots els càlculs al LabVIEW.

5.2.2. Funcionament del programa

Per explicar el funcionament del codi s'aniran assignant un seguit de números correlatius per seguir tots els casos. Cada vegada que s'entri dins un cas s'anirà assignant un subnivell.

Primer de tot es comproven els valors de les variables Vdx i Vax mitjançant un condicional (1). Això es fa per saber el signe de les variables, per després determinar en quin quadrant es troba la plataforma i el punt final. I així decidir cap a quin costat girarà aquesta. Els possibles casos són els següents:

-TRUE(1.1).Si Vdx i Vax són més grans o iguals a 0. Això vol dir que les variables amb coordenades x són positives o que la plataforma es troba sobre la recta del punt final de la coordenada x. Per tant s'entraria en aquest condicional true. Vdx(+) i Vax(+).

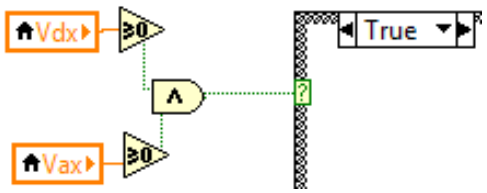


Figura 80. Comprovació de les variables Vdx i Vax amb el case True.

-FALSE(1.2).Si Vdx o Vax són negatius. Si un d'ells és negatiu la condició ja no es compleix. Per tant s'entraria en aquest condicional false.

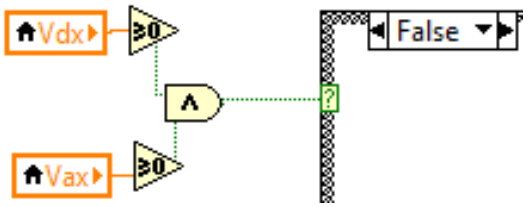


Figura 81. Comprovació de les variables Vdx i Vax amb el case Flase.

Si s'entra al condicional TRUE(1.1): es comprova si les variables Vdy i Vay són positives o iguals a 0. Aquí també tenim dos possibles casos:

-TRUE(1.1.1). Si Vdy i Vay són més grans o iguals a 0. Això vol dir que les variables amb coordenades y són positives o que la plataforma es troba sobre la recta del punt final de la coordenada x. Per tant s'entraria en aquest condicional true. Arribat a aquest punt ja se sap que la plataforma es troba en el primer quadrant. Vdx(+) i Vax(+), Vdy(+) i Vay(+).Per lo tant en aquest punt és comprovarà la proporcionalitat. Proporcionalitat 1.

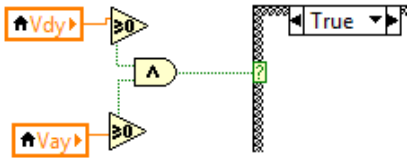


Figura 82. Comprovació de les variables Vdy i Vay amb el case True

–FALSE(1.1.2).Si Vdy i Vay són negatius. Si un d'ells és negatiu la condició ja no es compleix. Per tant s'entraria en aquest condicional false.

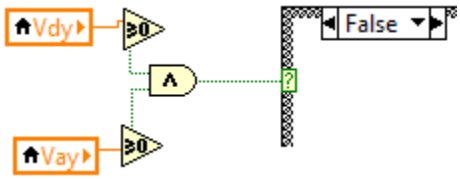


Figura 83. Comprovació de les variables Vdy i Vay amb el case False

Proporcionalitat 1:.Si s'entra al condicional TRUE(1.1.1): es comprova si aquest dos vectors estan dins un rang de proporcionalitat determinat amb la variable difParalel. A partir d'aquí també tenim dos possibles casos:

-(TRUE 1.1.1.1). Si és compleix l'anterior condició s'entrarà en el cas True. I aquest comprova si la plataforma arribat al seu objectiu o si està dins els rang establert a partir de la variable marge dist. arribada.

-Si aquesta condició es certa entrà en el cas true i es pararà la plataforma.

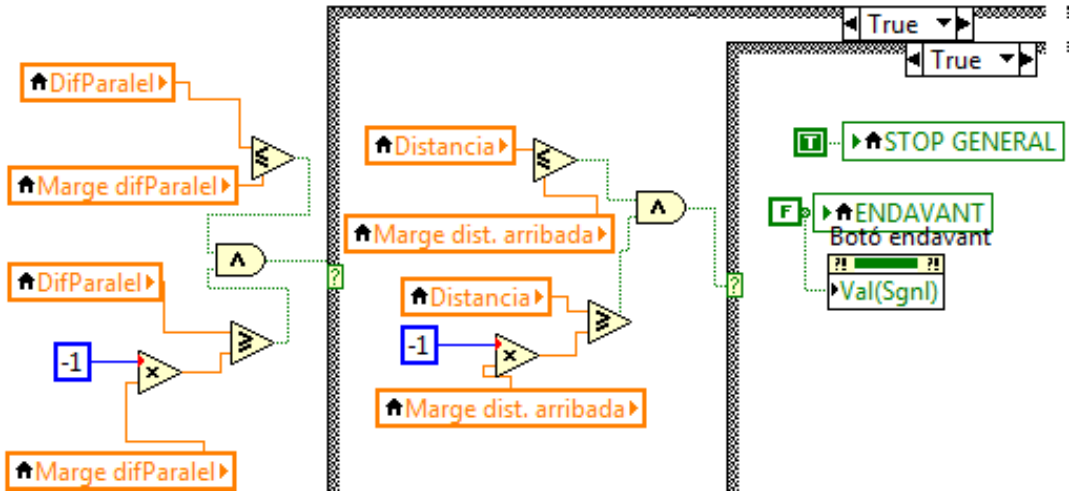


Figura 84. Comprovació de si els vectors són paral·lels i esta dins la distancia marge.

-En canvi si aquesta es falsa entrà en el cas false i si la distància és més gran que el marge dist.canvi de velocitat aquesta ordena a la plataforma que vagi ràpida sinó en cas false anirà lenta.

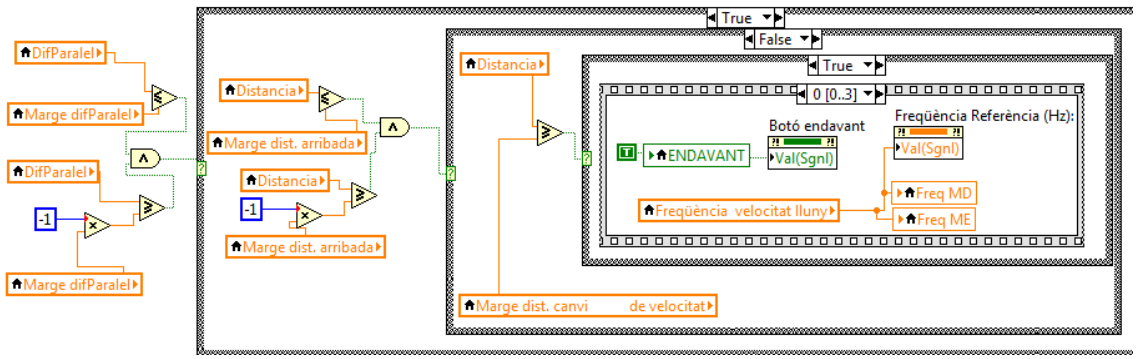


Figura 85. Comprovació si els vectors són paral·lels i esta dins la distancia marge i comprovació de la distancia al punt final.

Per entendre millor els condicionals anteriors es pot veure la següent figura.

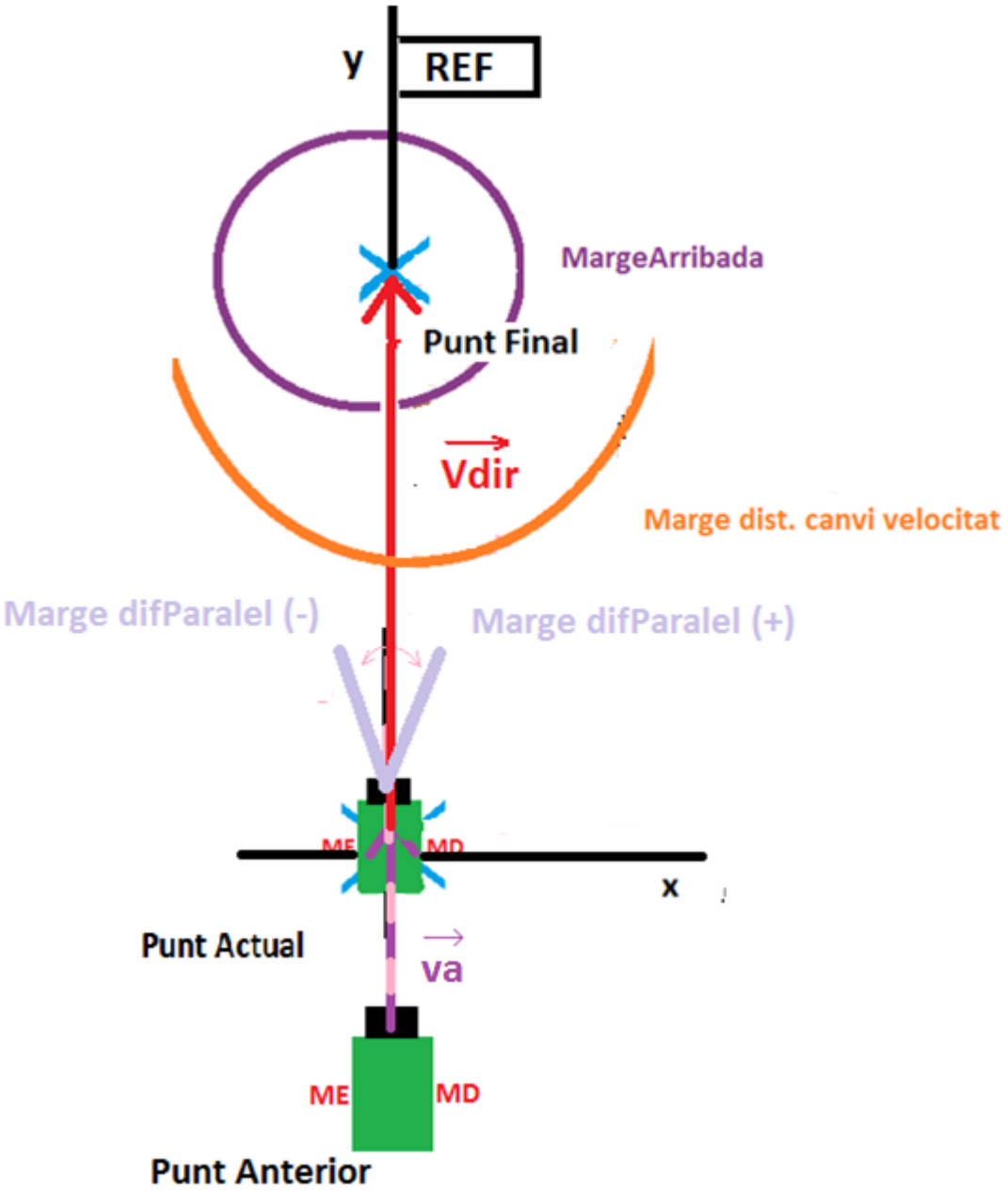


Figura 86. Figura en que la plataforma i el punt final són paral·lels/proporcionals..

-(FALSE1.1.1.2). Si no és compleix l'anterior condició, s'entrarà en el cas False i aquest comprovarà si els angles beta i alfa són 0° o 90°.

- Si es així entrarà en el case true i aquest donarà la ordre de pararà la plataforma.

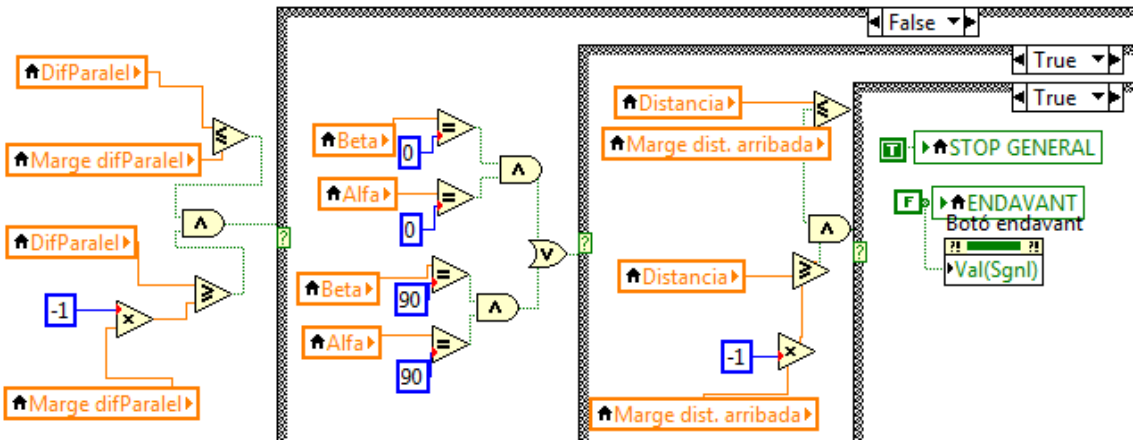


Figura 87. Comprovació dels angles alfa i beta

En cas que els angles alfa i beta no sigui ni 0° o 90° es comprova si beta es més gran o igual a alfa. En el cas que sigui cert aquest anirà a la dreta. En cas contrari a l'esquerra. Veure figures.....

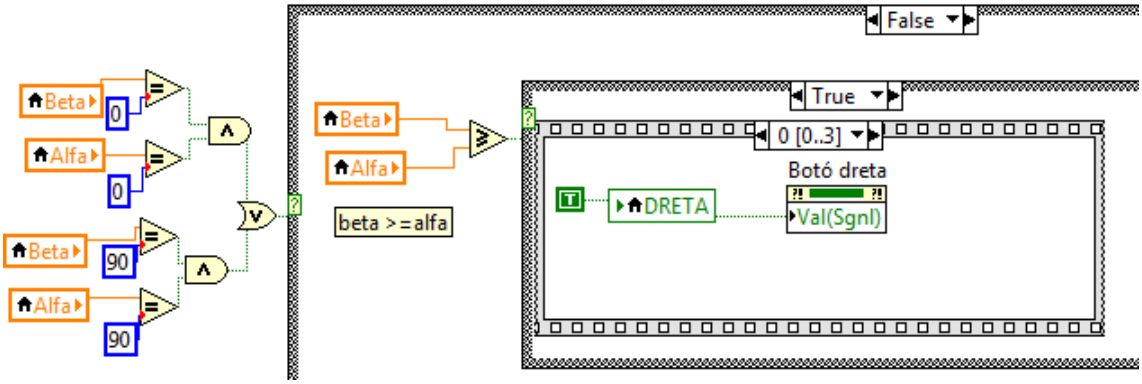


Figura 88. Cas en que beta és més gran que alfa.

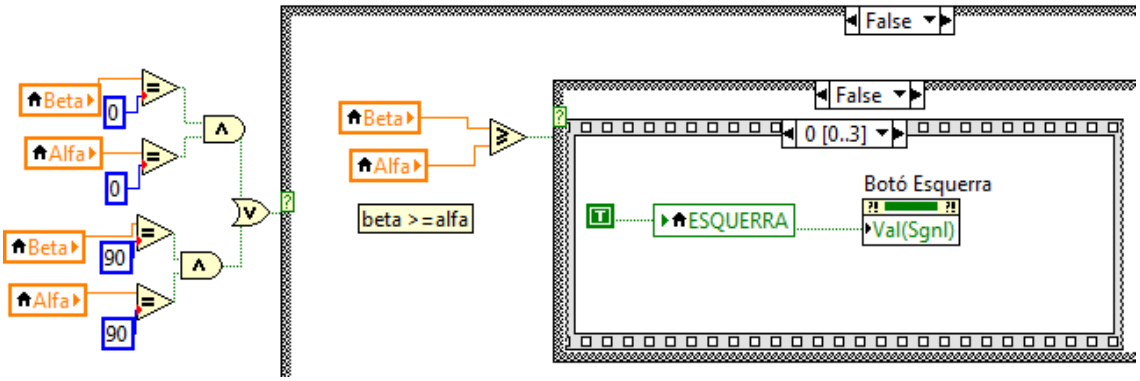


Figura 89. Comprovació Cas en que beta és més petit que alfa.

Si s'entra al condicional FALSE(1.1.2): es comprova si la variable Vdy és positiva o igual a 0. A partir d'aquí també tenim dos possibles casos:

- (TRUE 1.1.2.1). Si Vdy és positiva podem determinar que Vay és negativa o 0. Per lo tant el vector Vdir està en el 1er quadrant i el vector Va està en el 4rt quadrant. Per tant se sap que Vdx(+) i Vax(+), Vdy(+) i Vay(-). Així es pot determinar que la plataforma ha de girar cap a l'esquerra i es dona l'ordre de TRUE -> ESQUERRA

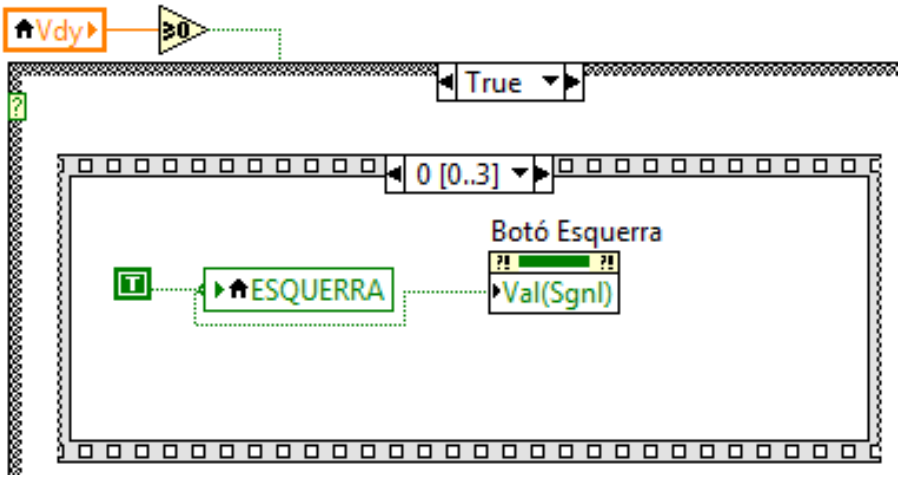


Figura 90. Cas true, es dona l'ordre d'anar a l'esquerra.

-(FALSE1.1.2.2). Si Vdy és negativa o igual a 0 s'entraria en aquest condicional False. I es comprova si la variable Vay és positiva o igual a 0. A partir d'aquí també tenim dos possibles casos:

-Si Vay és positiva s'entrà en el condicional True i per tant ja se sap que Vdx(+) i Vax(+), Vdy(-) i Vay(+). Per lo tant el vector Vdir està en el 4er quadrant i el vector Va està en el 1rt quadrant. Així es pot determinar que la plataforma ha de girar cap a la dreta i es dona l'ordre de TRUE ->DRETA.

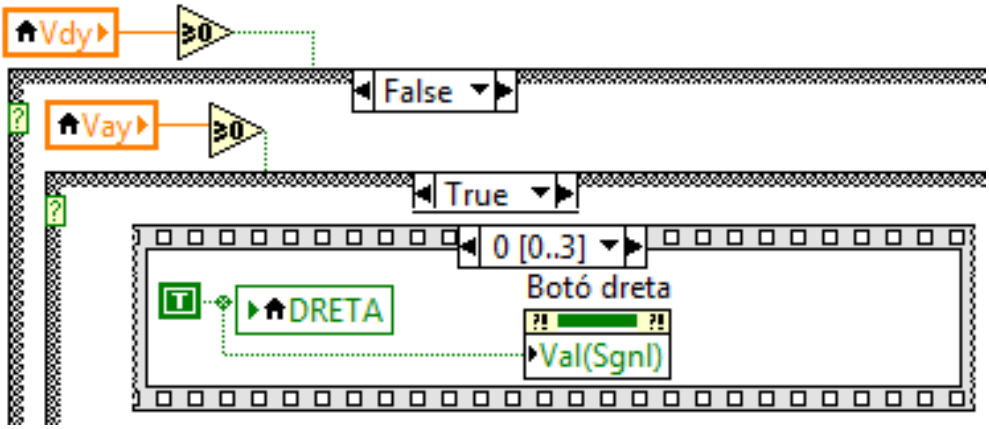


Figura 91. Figura en que Vdy es false i Vay es true.

- Si Vay és negativa o igual a 0 s'entraria en el condicional False i per tant ja se sap que Vdx(+) i Vax(+), Vdy(-) i Vay(-). Per lo tant el vector Vdir i Va estan en el 4er quadrant. Per lo tant en aquest punt és comprovarà la proporcionalitat. Proporcionalitat 2. Aquest cas serà igual que proporcionalitat 1, l'únic que canvia és que en aquest cas la plataforma i el punt final es troben al 4rt quadrant. (Al contrari de la proporcionalitat 1 que es troba en el 1er).

Si s'entra al condicional FALSE(1.2): es comprova si la variables Vdx és positiva o igual a 0. Igual que en el cas que entra en el condicional True, aquest es fan les mateixes comprovacions però partint de que aquest ja es negatiu. Per lo tant tenint 4 variables Vdx, Vdy, Vax i Vay es tenen 16 possibles combinacions.

	Vdx	**Vdy**	**Vax**	**Vay**
1	-	-	-	-
2	-	-	-	+
3	-	-	+	-
4	-	-	+	+
5	-	+	-	-
6	-	+	-	+
7	-	+	+	-
8	-	+	+	+
9	+	-	-	-
10	+	-	-	+
11	+	-	+	-
12	+	-	+	+
13	+	+	-	-
14	+	+	-	+
15	+	+	+	-
16	+	+	+	+

5.3. Algoritme 2

5.3.1. Definició de variables utilitzades i funcionament del programa

En aquesta secció s'explica cada funció del programa realitzat en LabVIEW.

La comunicació amb la plataforma comença amb la inicialització del GPS i la lectura de les coordenades inicials de la plataforma, tal i com s'ha explicat anteriorment.

El primer càlcul que es fa és el de la primera distància inicial i, en metres, amb la qual es comprova la posició inicial de la plataforma respecte el punt final. Es poden donar tres possibles casos:

$$i = \sqrt{(\mathrm{X_f} - \mathrm{X_i})^2 - (\mathrm{Y_f} - \mathrm{Y_i})^2}$$

Equació 14. Càlcul de la distància inicial

- Si la distància inicial té un valor igual o menor al marge de distància arribada assignat prèviament; es para la plataforma perquè es considera que aquesta es troba gairebé sobre el punt final.
- Si la distància inicial es troba dintre dels marges marcats; el moviment que farà serà endavant, independentment de l'orientació, i la velocitat de moviment de la plataforma serà més lent.

$$marge\ distància\ arribada < i \leq marge\ distància\ canvi\ de\ velocitat$$

Equació 15.Distància inicial dintre dels marges de distància

- Si pel contrari, la plataforma es troba allunyada del punt final, la plataforma es mourà igualment endavant, però en aquest cas, la freqüència de moviment serà ràpid.

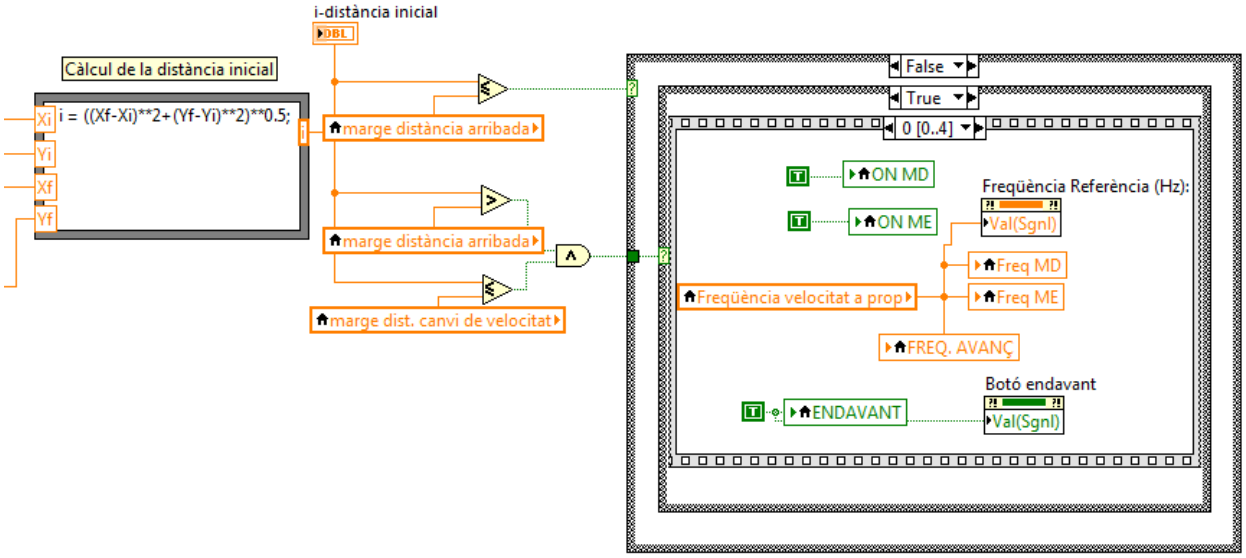


Figura 92. Càlcul de la distància inicial i primer desplaçament

En la figura 82 es mostra el cas en què el valor de la distància inicial *i* es troba dintre dels marges de distància. Primer es comprova si aquest valor és més petit que el marge de distància arribada. Com es fals que *i* sigui més petit que aquest marge, entra en el següent condicional. Aquest segon és cert, per tant, entra a fer la seqüència de moviments, que s'explicarà més endavant. El primer pas és desplaçar-se endavant, a la freqüència de velocitat a prop, ja que es troba propera al punt final.

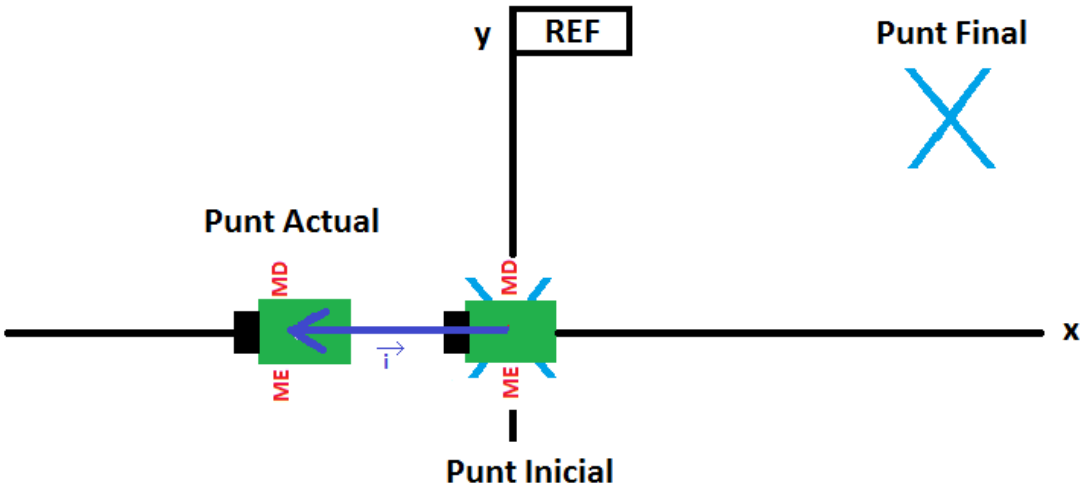


Figura 93. Representació de la distància inicial i

Un cop s'ha realitzat el primer moviment i es té una nova posició –posició actual- , es calculen noves variables relacionades amb la distància entre el punt actual i el punt final:

Càlcul de la direcció d'orientació, anomenada v. És la distància que hi ha entre el punt actual (X_a,Y_a).i el punt anterior, que passa a anomenar-se (X_b,Y_b) per a conèixer l'orientació que ha seguit la plataforma amb el seu primer moviment.

$$v = \sqrt{(X_a - X_b)^2 - (Y_a - Y_b)^2}$$

Equació 16.Càlcul de la direcció d'orientació, entre els punts anterior i actual

Càlcul de la distància entre el punt final (X_f,Y_f)i el punt actual (X_a,Y_a), anomenada d.

$$d = \sqrt{(\mathrm{X_f} - \mathrm{X_a})^2 - (\mathrm{Y_f} - \mathrm{Y_a})^2}$$

Equació 17.Càlcul de la distància respecte el punt final

Aquestes dos distàncies estan calculades en metres.

Càlcul de l'orientació,variable anomenada o. Amb aquesta variable es comprova si el punt final està contingut en la recta d'orientació que té la plataforma (v), donant valors tant positius com negatius, sense unitats. El signe d'aquesta variable indicarà si el punt final es troba a dreta o esquerra de la plataforma. Si el valor d'aquesta variable és negatiu, indica que el punt final es troba a l'esquerra de la plataforma, i per tant, haurà de fer un moviment de gir en sentit antihorari. Si pel contrari, el valor és positiu, significa que el punt final es troba a la dreta de la plataforma. Així, el moviment de gir serà en sentit horari.

$$o = \frac{\left((\mathrm{X_a} - \mathrm{X_b}) \cdot (\mathrm{Y_b} - \mathrm{Y_f})\right) - \left((\mathrm{X_b} - \mathrm{X_f}) \cdot (\mathrm{Y_a} - \mathrm{Y_b})\right)}{\mathrm{v}}$$

Equació 18. Comprovació de la posició del punt final respecte la recta d'orientació

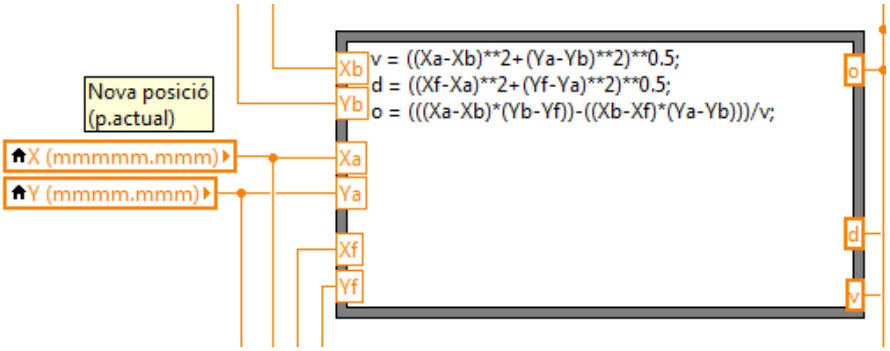


Figura 94. Càlcul de distàncies, amb les entrades i sortides necessàries per a fer els càlculs

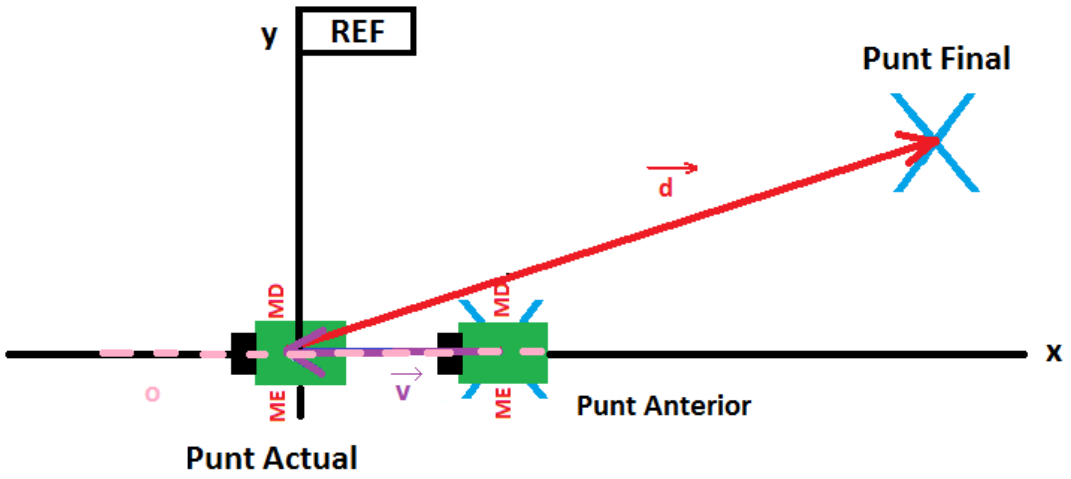


Figura 95. Representació de les variables calculades

En el cas de la figura anterior, es pot veure que el punt final no està contingut en la recta d'orientació o, formada per les posicions anterior i actual. És en aquest moment quan la plataforma haurà de girar per tal d'aconseguir que v i d tinguin la mateixa direcció i sentit; el que és el mateix, que el punt final estigui contingut en la recta de desplaçament.

Seguidament, es comproven els valors de la distància d i l'orientació o. Els possibles casos són els següents:

- Si la distància entre els punts és un valor menor o igual al marge de distància arribada, vol dir que es la plataforma es troba gairebé en el punt final, i per tant, es dóna la ordre de parar el programa.
- Si la distància té un valor inclòs en l'interval format pels marges de distància arribada i marge distància canvi de velocitat, es dóna per entès que la plataforma es troba propera al punt final i es desplaçarà a una freqüència lenta per tal de què no es passi el punt final en algun dels moviments i es pugui anar calculant la distància a mesura que s'apropa al destí.
- Si pel contrari, la distància d té un valor superior al marge de distància de canvi de velocitat, vol dir que el punt es troba lluny del objectiu, i per tant s'haurà de desplaçar a una freqüència més ràpida que en el altre cas.

Al mateix temps, cal comprovar el valor de la variable d'orientació, o. Els possibles casos són els següents:

- Si aquesta té un valor dintre dels marges inferior i superior, indica que la plataforma es troba orientada, per tant, el moviment serà endavant. Això vol dir que el punt final es troba sobre la recta d'orientació formada pels punts anterior (X_b,Y_b) i el punt actual (X_a,Y_a).
- Potser que el valor d'orientació sigui més gran que el marge o superior, indicant que el punt final no es troba sobre la recta d'orientació, sinó que es troba a la dreta de la plataforma, i per tant, el moviment que haurà de fer és un gir en sentit horari.

- I un tercer cas es dóna quan el valor d'orientació o és més petit que el marge o inferior (serà sempre valor negatiu) i indica que el punt final es troba a l'esquerra de la plataforma, així doncs, el desplaçament serà un gir en sentit antihorari.

En la figura que es mostra a continuació, es veu clarament que el punt final no es troba en la direcció d'orientació de la plataforma. Això vol dir que la plataforma no està orientada, i haurà de girar per tal d'aconseguir que *d* estigui en la recta de prolongació de la direcció de moviment, *o*.

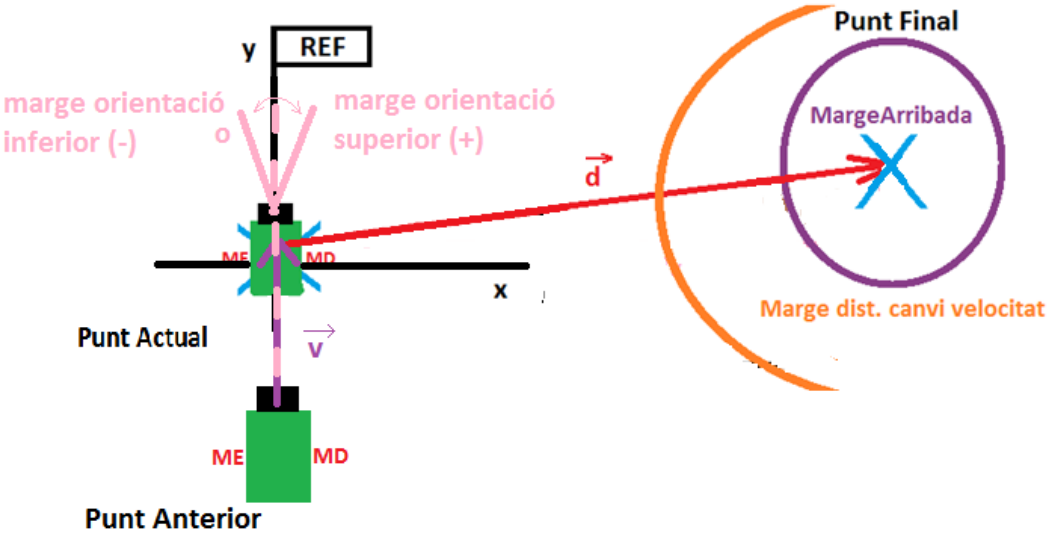


Figura 96. Representació dels marges de distància i d'orientació

Tant la marxa endavant com els girs es faran a una freqüència determinada pel valor de la distància d, depenent de si el punt es troba a prop o lluny del punt de destí marcat.

Amb cada desplaçament es calcula un valor de l'angle d'orientació, en graus, amb una variable anomenada g. Aquesta indica l'orientació en graus de la plataforma respecte el punt final.

En els casos en què la plataforma es desplaci endavant, la variable g té directament assignat un valor de g = 0°, que indica que la plataforma està orientada. Pels altres casos, es calcula:

$$q = \cos^{-1}\left(\frac{(X_f - X_a)\cdot(X_a - X_b)}{v \cdot d}\right)$$

Equació 19.Càlcul angle d'orientació

Per passar de radians a graus, s'obté g:

$$g = \frac{q \cdot 180}{\pi}$$

Equació 20. Orientació, en graus

Com que es vol que els graus s'indiquin sempre positius, en els casos en què el desplaçament sigui girar en sentit horari, es fa un tercer càlcul, fent que g sigui:

$$g = 360 \cdot ((q \cdot 180)/\pi)$$

Equació 21.Angle d'orientació en el cas en què el gir és en sentit horari

Així sempre s'obtenen valors entre 0^0 i 180^0.:

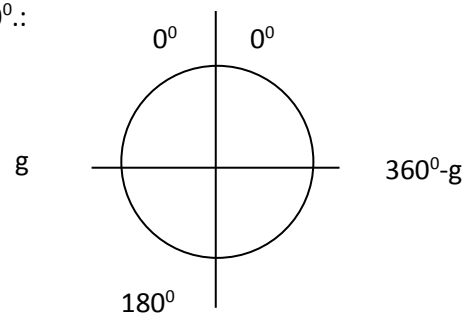


Figura 97. Representació de l'angle g de 0° a 360°.

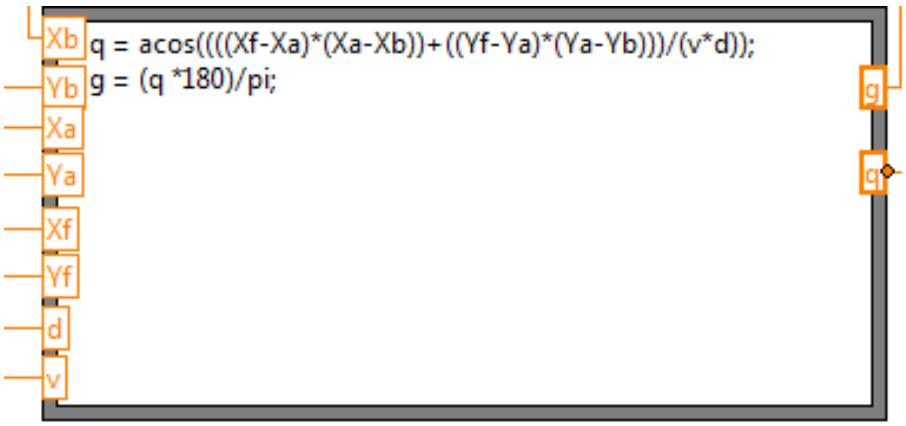


Figura 98. Càlcul de l'angle d'orientació, amb les variables d'entrada i sortida necessàries

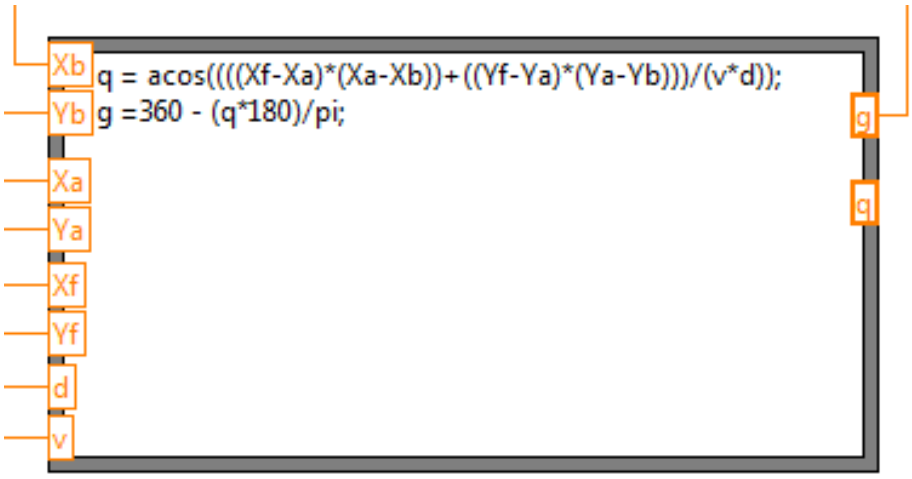


Figura 99. Càlcul del angle en el cas en què el gir serà en sentit horari

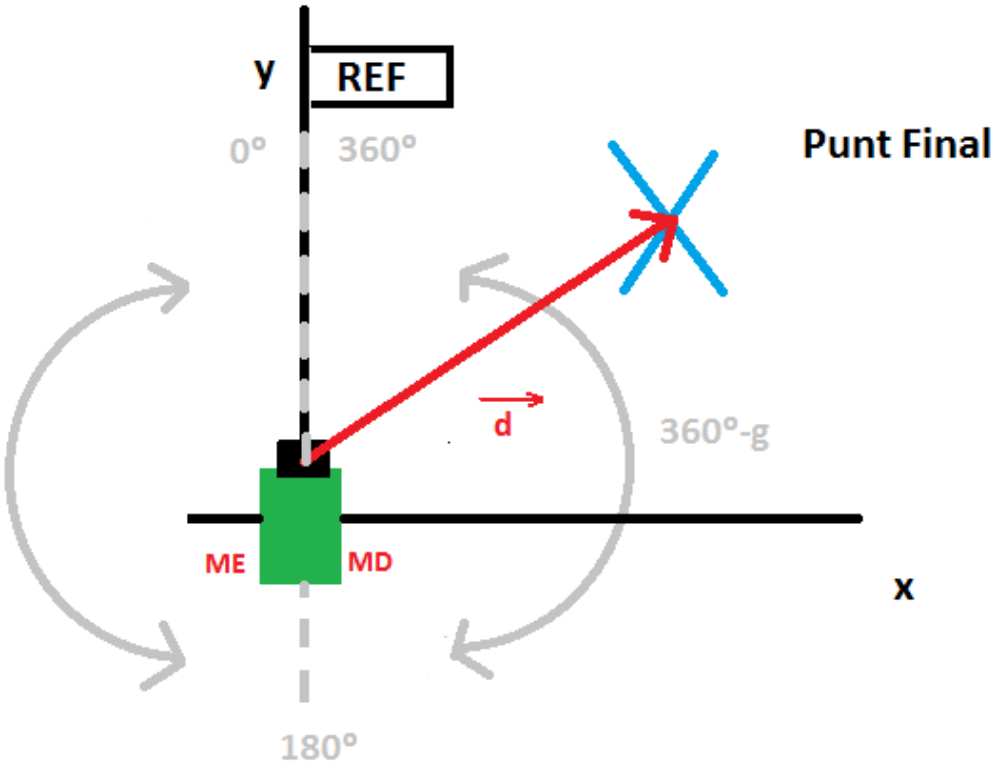


Figura 100. Representació de l'angle g

Un cop s'han realitzat aquests càlculs, l'algoritme passa a un bucle més gran. A partir d'aquest moment, s'implementarà només aquest tros de codi contínuament. A més, es guarden les posicions de la plataforma a cada volta del bucle, per tal de poder fer els càlculs de distàncies entre les posicions actual (X_a,Y_a) i anterior (X_b,Y_b), per veure l'orientació que va seguint la plataforma. Dintre d'aquest bucle, es tornen a calcular:

- Direcció d'orientació v
- Distància entre el punt final (X_f,Y_f).i el punt actual (X_a,Y_a),
- Orientació, amb els pertinents canvis depenent de la posició de la plataforma.

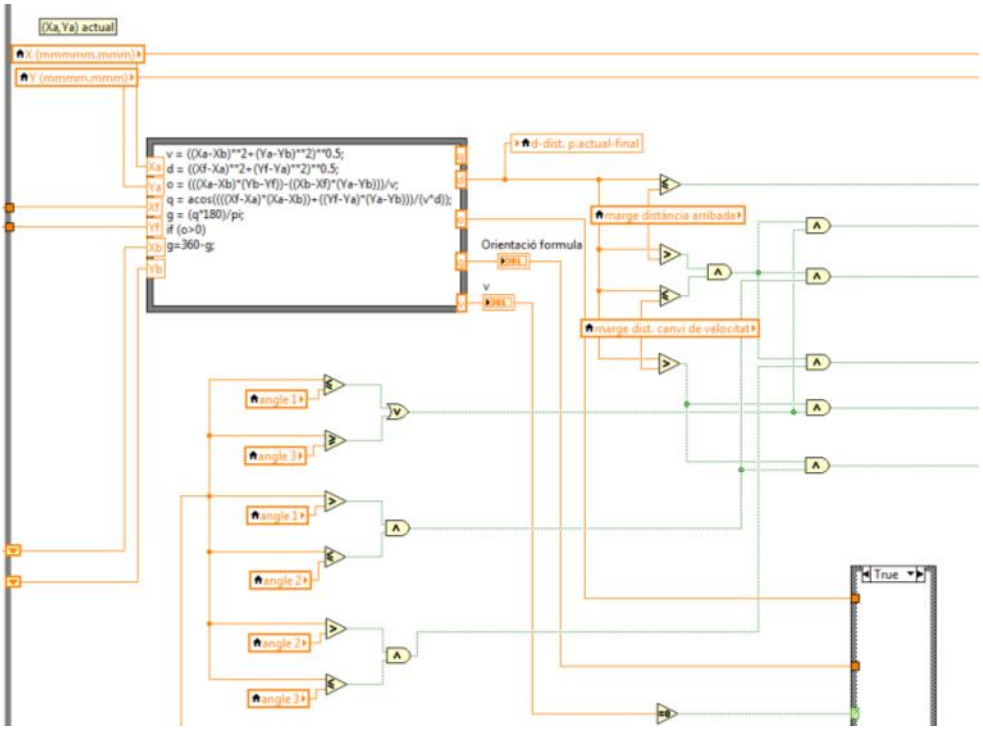


Figura 101. Càlculs de distàncies i comparacions entre valors

A més, dintre d'aquest bucle es comprova si realment la plataforma ha canviat de posició. Si es donés el cas en què la plataforma no canviés de posició, per tal d'evitar que els càlculs donguin error, s'ha afegit una estructura *Case*. Dintre d'aquesta estructura, es comprova si el valor de la direcció d'orientació v és zero. Si ho és, significa que la plataforma no s'ha desplaçat, i per tant, s'agafen els valors que indiquen l'orientació (la variable o i l'angle g) calculats en el bucle anterior. Si no és cert, vol dir que la plataforma ha variat la seva posició respecte el punt anterior, i es continua el bucle amb els càlculs fets en aquell moment.

Aleshores, es donen els possibles casos per als diferents desplaçaments. Aquí es tenen en compte els marges de valors d'angle assignats abans d'executar el programa, considerant 3 particions, que s'explicaran més endavant.

Igual que en el desplaçament explicat anteriorment, el valor de la distància entre els punts final i actual entra dintre d'un rang; marge de distància arribada i marge de distància canvi de velocitat.

Tal i com s'ha detallat abans, es poden donar tres possibles casos, que faran que la plataforma es pari, que continuï avançant però lentament, o que segueixi el seu recorregut a la freqüència ràpida. En aquest cas, es calcula la orientació i es comprova dintre de quins marges es troba.

Aquesta comprovació es realitza amb les noves variables, anomenades angle 1, angle 2 i angle 3 que tenen els valors de 10^0, 180^0 i 350^0, respectivament.

Aquests valors són escollits per l'usuari. El valor de g (valor d'orientació amb graus) calculat estarà inclòs en algun dels 3 rangs d'angles definits:

Pot ser que g tingui un valor entre 350^0 i 10^0, entre 10^0 i 180^0 o el seu valor estigui dintre del rang de valors entre 180^0 i 350^0.

- Si el valor de g es troba entre 350^0 i 10^0, vol dir que es troba orientada, i que per tant, es desplaçarà endavant.
- Si el valor de g es troba entre 10^0 i 180^0, la plataforma es desplaçarà cap a l'esquerra.
- I si no es dóna cap dels dos casos anteriors, vol dir que el valor de g es troba entre 180^0 i 350^0, i la plataforma es desplaçarà cap a la dreta.

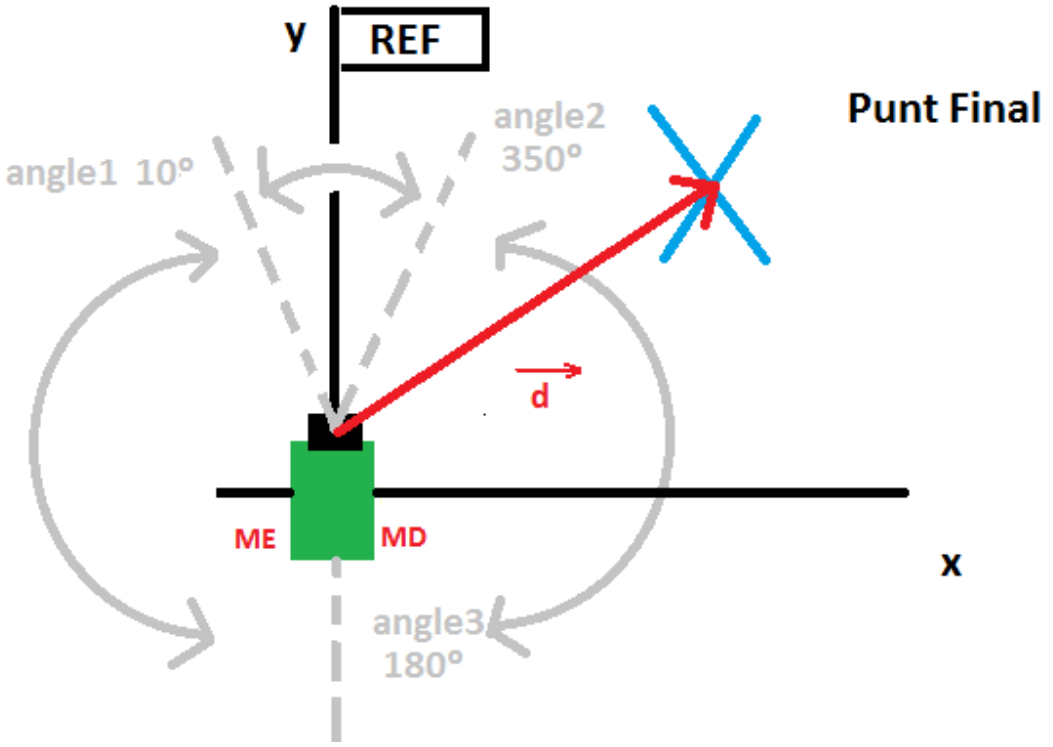


Figura 102. Representació dels tres rangs d'angles

En la figura 93, es pot comprovar que la plataforma giraria en sentit horari, ja que el punt es troba dintre del rang entre 180 i 350^0

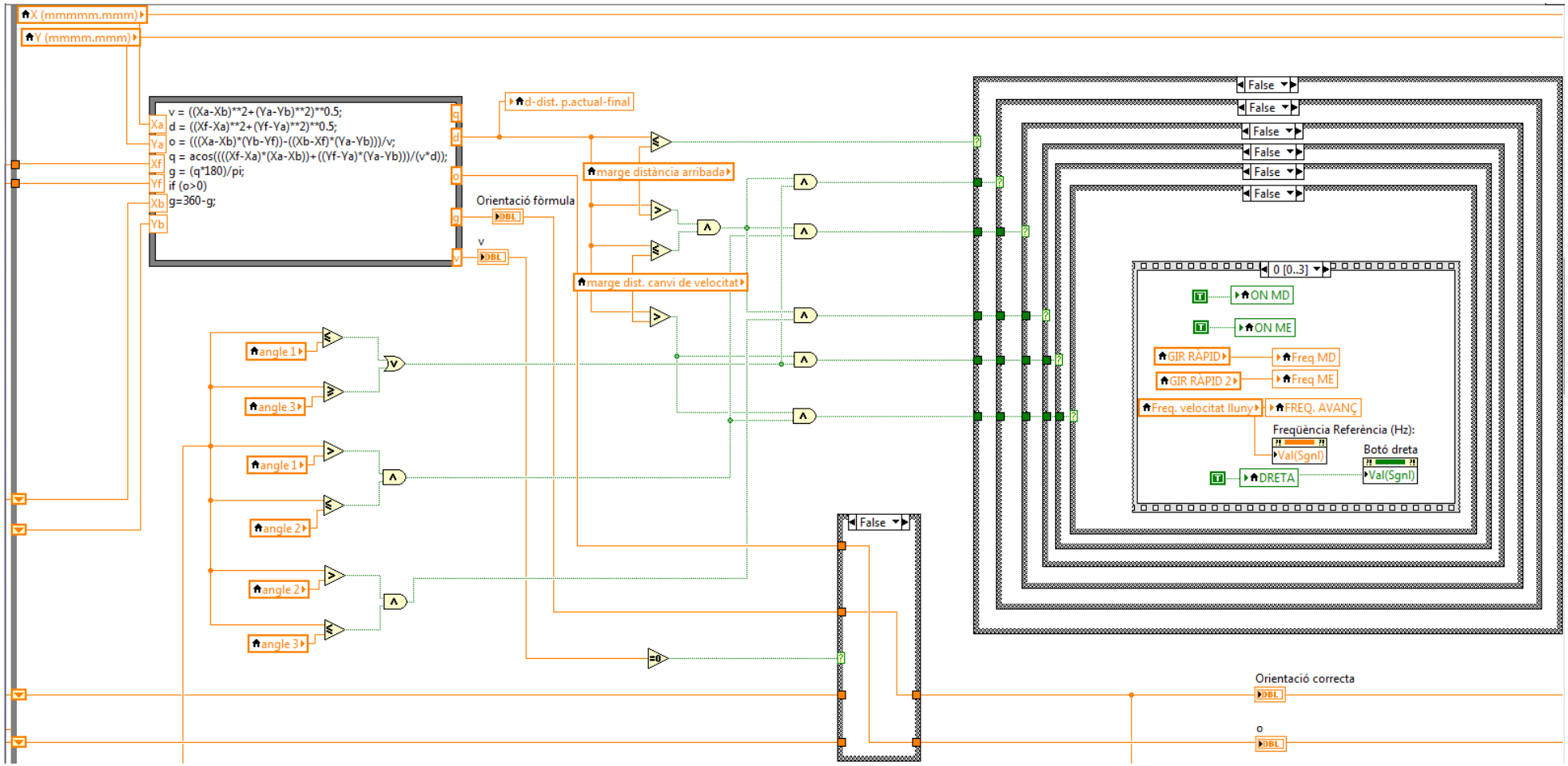


Figura 103. Bucle amb els càlculs i comparacions per a fer cada moviment

Cada vegada que es fa un desplaçament, es segueix una seqüència de 4 passos.

1.- S'activen els motors de la plataforma, donant la freqüència de moviment adequada segons la posició de la plataforma. A més, s'activen els LEDs indicadors del moviment, per veure-ho de manera simple en el panell frontal. S'ha inclòs una freqüència de referència (freqüència d'avanç) per tal de mostrar de manera ràpida la velocitat a la que es mou la plataforma, independentment de si es desplaça endavant o les erugues es mouen en sentit horari o antihorari.

2.- Wait 1. Aquest temps d'espera serveix per donar-li temps a que la plataforma es desplaci. Ve definit per l'usuari. Els valors utilitzats, en milisegons, han estat entre 500 i 1000 ms.

3.- Desactivació dels LEDs. Només es desactiven les llums del panell frontal, per indicar que la plataforma ha acabat de fer el desplaçament. No s'indica que pari els motors, ja que així s'estalvia una comunicació ordinador-plataforma i també temps de moviment.

4.- Wait 2. Aquest temps d'espera s'ha afegit per tal d'evitar que el programa avanci massa ràpid i no respongui adequadament.

L'explicació es pot veure de manera gràfica en la figura següent.

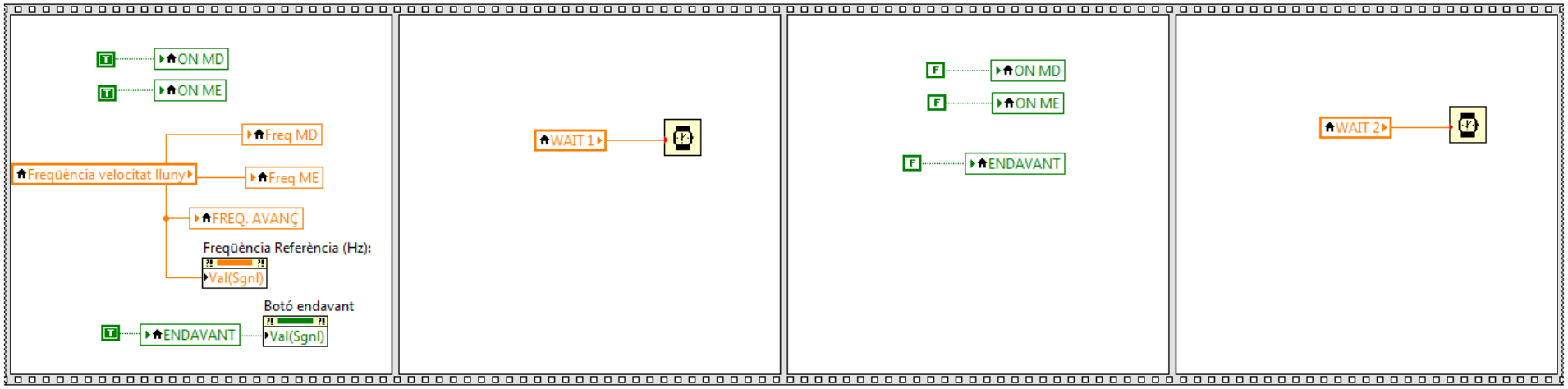


Figura 104. Seqüència de moviments

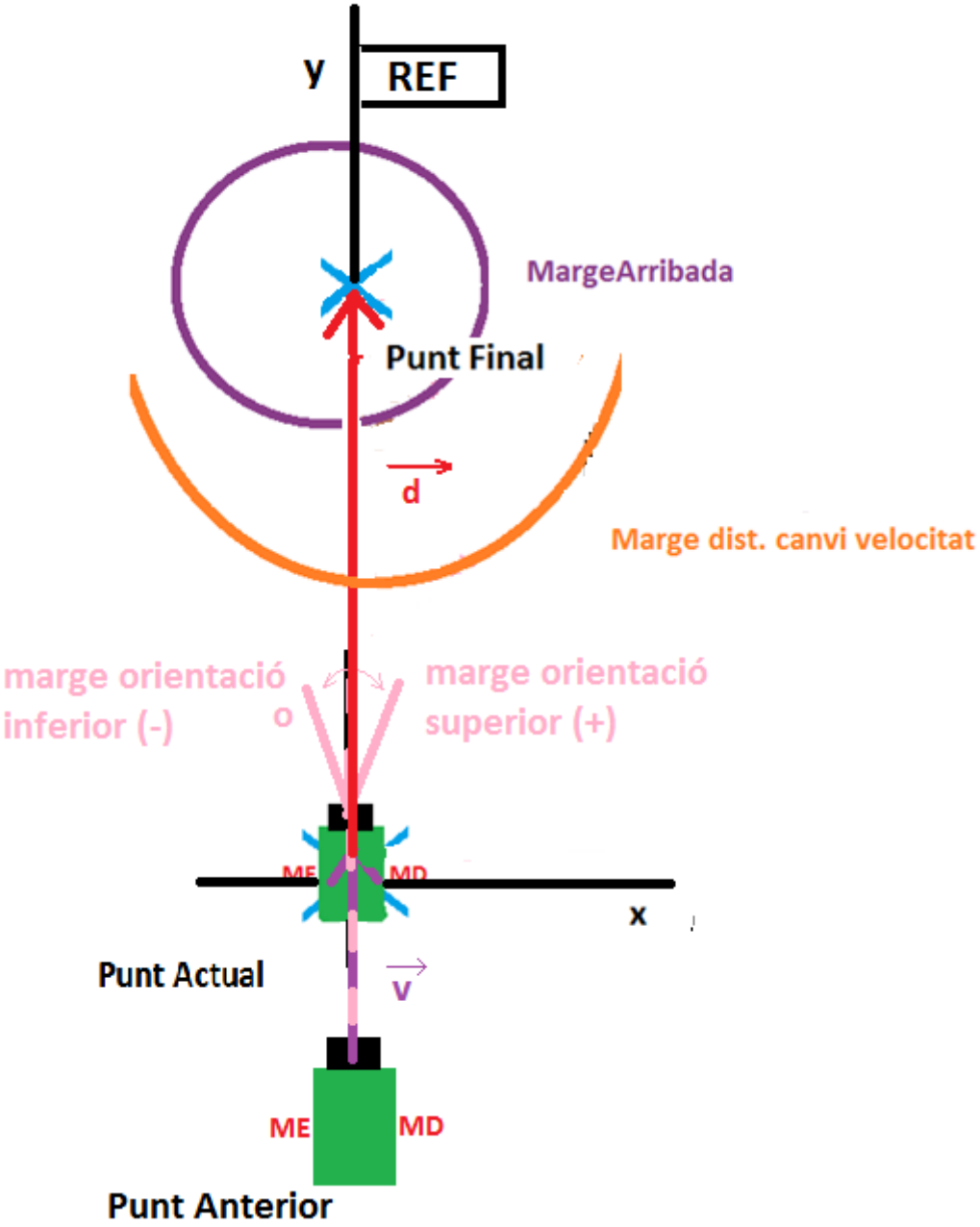


Figura 105. Representació amb la plataforma orientada cap al punt final

6. Avaluació experimental

6.1. Descripció dels assajos realitzats

24/03/15. Prova 1: Primera prova dels algoritmes al camp

Per a facilitar i agilitzar l'estudi, es van fer les primeres proves col·locant un PC amb el programa LabVIEW i el receptor GPS en un carro que es desplaçava manualment, simulant el moviment de la plataforma automotriu. Tant aquest assaig com els que segueixen, es van realitzar als voltants de l'edifici 4 de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària (ETSEA) de la Universitat de Lleida.

Figura 106.Carro simulador de la plataforma amb GPS incorporat

A l'hora de la posta en marxa, es van trobar uns errors en la lectura del port sèrie. Primer de tot es llegeix una sentència que comença per $GNLLQ seguida de la posició (x,y) però de vegades fallava la lectura d'aquesta sentència.

L'objectiu que ens havíem marcat per la primera posta en marxa és que el carro (simulació de la plataforma automotriu) anés d'un punt inicial a un punt final conegut. Dels dos algoritmes realitzats només un d'ells va donar resultats satisfactoris. Aquest anava d'un punt inicial a un punt final fent ziga-zagues. L'inconvenient amb el què ens vam topar va ser que no aconseguia arribar mai al punt exacte de destí perquè les coordenades detectades pel GPS són molt precises, i els càlculs de l'algoritme no són tan precisos .Per tant es va creure oportú crear els les variables de marge arribada.

A partir d'aquestes observacions, el pròxim objectiu per la següent posta en marxa seria que la plataforma no anés fent ziga-zagues.

A més, es va considerar una bona opció variar la freqüència(velocitat) dels motors depenent de la distància entre la plataforma i el punt final, si aquesta es troba propera al punt final, reduir la velocitat i així fer els moviments més controlats i no anar fent ziga-zagues i moviments bruscos a mesura que la plataforma s'acosta al punt de destí.

Referent a l'altre algoritme, un cop es donava l'ordre de moviment cap a les posicions finals, es començava a moure però hi havia un punt en què donava l'ordre de girar cap a l'esquerra i seguidament només donava voltes sobre ell mateix. Per tant, l'objectiu per aquest algoritme seria trobar el perquè d'aquest error i a més a més, aconseguir els mateixos objectius que amb l'altre programa.

Figura 107.Simulació dels moviments que ha de fer la plataforma amb el carro.

07/04/15. Prova 2: Simplificació de moviments de la plataforma

Abans de començar amb la prova, es va col·locar un rectificador GPS al sostre de l'edifici 4 de l'ETSEA i es va programar amb la pantalla tàctil del GPS Leica. Primer es necessitava saber la situació amb la que s'havia definit la posició del GPS al terrat (Base). Un cop s'ha engegat l'aparell aquest es va connectant amb els satèl·lits de l'espai. Amb la comunicació ja establerta aquest comença a captar coordenades a partir de l'antena de la base que es comunica per senyals de radio. Cal comptar el número d'ones que hi ha des del satèl·lit a la base. Calculada aquesta distància la Base envia la correcció al ROVER. (Objecte posicionat sobre la plataforma).

Figura 108. Rectificador GPS instal·lat a la teulada de l'edifici 4 de l'ETSEA

Al provar els dos programes utilitzant el carro manual, en ambdós casos es van obtenir bons resultats. L'únic problema que es va observar és que en el cas que la plataforma es passi del punt final, aquesta hauria de girar fins tornar-se a encarar cap al punt de destí marcat. Això es degut a què els vectors poden tenir signe positiu o negatiu segons la direcció que es pren, i fins ara només s'havia contemplat la possibilitat de què aquest signe fos positiu, i en el cas d'aquesta segona prova, el signe era negatiu. Així doncs, caldria millorar aquest apartat de l'algoritme i contemplar les diferents possibilitats.

De cara a poder avançar en el treball, s'ha marcat un nou objectiu. A partir del treball fet fins ara, s'ha pensat que caldria afegir una variable de freqüència nova que indiqués la freqüència de moviment general de la plataforma. D'aquesta manera, s'enllaça el present treball amb el TFM elaborat per en Jan.

06/05/15. Prova 3:Posta en marxa de la plataforma al camp

La idea inicial era poder provar la plataforma automotriu, però el programa no responia als últims canvis que es van afegir. Es va tornar a provar amb el PC simulant la plataforma gran per a poder veure si el moviment bàsic era correcte.

En un dels algoritmes els moviments són perfectes i marca el punt de destí amb claredat.

El següent objectiu marcat serà enllaçar l'algoritme creat en aquest treball amb el realitzat pel Jan, amb el control de la plataforma amb el joystick.

Figura 109. Intent de la posta en marxa.

09/06/15. Prova 4: Prova del joystick + algoritme control autònom

Figura 110. Plataforma utilitzada

Aquest dia es va provar l'algoritme 2, amb la plataforma l'exterior. Aquesta vegada es va optar per alimentar la plataforma a la xarxa elèctrica, per a evitar el funcionament del grup electrogen de la plataforma (molèsties de soroll, fum, etc.). La resposta davant les ordres de moviment va ser perfecta, doncs la plataforma anava fins al punt assenyalat sense cap tipus de problema. L'únic inconvenient amb el que ens vam topar va ser que la plataforma utilitzava massa temps entre l'aturada d'un moviment i el començament del següent desplaçament. Aquest fet provoca que la plataforma no aconsegueixi acabar el seu trajecte amb poc temps.

Un aspecte a millorar seria modificar els temps de desplaçament i d'aturada.

15/06/15. Prova 5: Canvis en els temps

Es va començar fent unes proves amb l'algoritme de control del joystick per a poder enllaçar-ho amb l'algoritme actual. Com a solució, es va optar per esborrar els casos en què es diu a la plataforma que pari, i així s'estalvia temps i comunicacions ordinador-plataforma. D'aquesta manera, només es dóna la ordre d'anar endavant o girar cap a la dreta o l'esquerra, però no es diu que pari, farà una ordre després de l'altra.

Al mateix temps, es va treballar amb l'algoritme 2. Es va afegir una nova variable, anomenada objectiu, que només està indicada amb un LED que s'encendrà quan la plataforma hagi arribat al punt final. En aquestes situacions, el programa para perquè s'ha imposat un STOP, que para de manera forçada el programa. Això seria un aspecte a millorar en un futur, i fer la finalització del programa amb un altre tipus de codi implementat.

També s'ha cregut oportú realitzar una configuració de les erugues al inici del bucle, per a treballar amb els paràmetres òptims des del començament.

Aquests darrers canvis en el temps no es van poder provar a l'exterior a causa de la pluja.

Figura 111. Plataforma utilitzada amb l'algoritme 2

17/06/15. Prova 6: Proves dels canvis en els temps d'execució de moviments

Aquest dia es van intentar provar els canvis fets en dies anteriors per a poder estalviar en temps i comunicacions entre l'ordinador i la plataforma. Al principi tot funcionava perfecte, ja que la plataforma es desplaçava correctament, aconseguia no aturar-se entre una ordre de moviment i l'altra, el que feia que es pogués moure amb més llibertat, sense aturar-se a cada moment, i arribava al punt final. L'únic problema era que el temps de moviment (*Wait* afegit en la seqüència de moviments a realitzar en cada desplaçament)que s'havia assignat era de 4 segons, i es va creure que amb un temps inferior, podria arribar de manera més precisa al punt de destí, ja que es podria donar el cas en què es passés 4 segons desplaçant-se i durant aquest temps avancés massa tros i es passés el punt objectiu.

Al fer aquest canvi, la plataforma no responia de la mateixa manera que abans. Aconseguia fer un primer moviment correctament però després no seguia les instruccions detallades de l'algoritme. Així doncs, caldrà estudiar i revisar el codi per veure on pot haver-hi algun error.

23/06/2015. Prova 7: Proves amb l'algoritme 1

Es va començar fent unes proves amb l'algoritme. Vist que un dels objectius és comparar els dos algoritmes (en temps, precisió, trajectòria seguida, etc.) va sorgir la idea d'emmagatzemar els trajectòries mitjançant un arxiu de tipus txt cada vegada que s'iniciés el bucle al polsar el control de Inici de navegació. Al principi només guardàvem l'arxiu amb el nom de trajectòria però ens vam fixar que aquest es suplantava cada vegada. Per tant vàrem decidir canviar el nom com a trajectòria+l'hora. La variable hora s'aniria canviant constantment cada vegada que s'iniciés el bucle.

Vàrem fer varies proves amb alguns arxius que es poden utilitzar com a resultats i altres erronis. Però es va decidir fer alguns canvis més en el codi i en la següent prova analitzar els canvis

25/06/2015. Prova 8: Proves finals amb l'algoritme 2

Durant aquesta prova es van intentar resoldre els problemes que havia donat en dies anteriors. Es va optar per afegir un bucle amb un arxiu de dades, que anés guardant totes les posicions de la plataforma per així poder seguir la seva trajectòria. Depenent de la posició des d'on es començava a moure la plataforma, aquesta es comportava de manera diferent. Continua fent ziga-zagues, però al modificar els temps d'espera, no para entre un moviment i un altre i aconsegueix moure's amb major facilitat.

30/06/2015. Prova 9: Proves finals amb l'algoritme 1

Vàrem començar provant la plataforma amb els canvis que s'havien plantejat el dia 23/06/2015, però aquests no van donar gaires bon resultats, ja que la plataforma gira durant bastant temps cap a la dreta (sentit horari) i també cap a l'esquerra (sentit antihorari).

A més a més, aquest dia la comunicació de l'ordenador amb la plataforma va fallar varies vegades.

Al final vàrem decidir que es tornaria a revisar el codi i el pròxim dia ja es farien les proves finals.

02/07/2015. Prova 10: Proves definitives amb l'algoritme 1

Es van tenir problemes un altre cop amb el tema de les variables. Algunes variables dreta i esquerra estaven al revés i es va optar a provar la plataforma manipulant-la manualment i així anar comprovant quins passos seguia el codi.

Un cop vist que la plataforma hauria de funcionar bé es va tornar a provar, però abans d'arribar al punt final aquesta es parava fent un Stop general quan encara quedaven 3 metres per arribar-hi. Així que es tornarà a revisar el codi per al pròxim fer la última prova.

06/07/2015. Prova 11: Proves definitives amb l'algoritme 1

Primer vàrem provar amb la plataforma encarada al punt final. Fem fer dos intents i els dos van donar resultats satisfactoris, tot i que l'stop general de la plataforma (que pares de funcionar) no ho feia.

Al final es va arribar a la conclusió de que la comunicació de l'ordenador amb la plataforma no és gaire bona i per tant es va optar a guiar-la manualment amb el Joystick. Es van fer varies captures de la trajectòria en un arxiu txt amb el que després s'implementaran les gràfiques per comparar-ho amb els resultats de l'altre algoritme.

Però també ens vam adonar que la plataforma un cop està molt propera a l'objectiu ja no rectifica la seva posició girant cap a la dreta o cap a l'esquerra, sinó que tira endavant. Aquest seria un dels aspectes a millorar en el codi de la plataforma.

Figura 112. Plataforma utilitzada amb l'algoritme 2

07/07/2015. Prova 12: Proves amb els dos algoritme utilitzant 4 casos iguals per després comparar-los.

Per a poder fer les proves definitives de la plataforma, s'ha optat per considerar 4 situacions diferents de posició de la plataforma respecte el punt final.

Primer, es va situar la plataforma allunyada 7 metres del punt final, per a poder comprovar bé tot el recorregut, considerant que la plataforma ha d'anar a dos freqüències de moviment diferents que varien segons la distància entre la posició actual de la plataforma i el punt de destí. Els 4 casos definits són:

Cas 1.-Plataforma encarada en la línia que uneix el punt inicial amb el punt final

Cas 2.- Plataforma girada 90° cap a la dreta

Cas 3.- Plataforma girada 90° cap a l'esquerra

Cas 4.- Plataforma totalment girada, a 180 ^{0}

En l'apartat 6.2 es mostraran les figures que representen els quatre casos.

Pel que fa a les proves amb l'algoritme 2, es va començar amb el cas 1. El recorregut es va realitzar satisfactòriament.

En el cas 2, la plataforma estava encarada cap a la dreta. S'havien establert uns marges d'angle (angle1, angle2 i angle3) de 10^0, 180^0 i 350^0, respectivament. La plataforma va aconseguir arribar al punt de destí, dintre dels marges de distància, però es va considerar que es podrien reduir els angles de gir, el que comporta a canviar els marges d'angle. Per tant, en aquest segon intent, es considera que la plataforma està encarada quan el valor de l'angle es troba dintre del marge de 345^0 i 15^0, anomenant-lo cas 2.2.

Per últim, com es va veure que la plataforma responia adequadament, es va optar per intentar canviar els angles i veure com es desenvolupava la plataforma dintre d'aquells nous marges. En aquest cas 2.3, es considera que la plataforma està encarada quan el valor de l'angle es troba dintre del marge de 340^0 i 20^0.

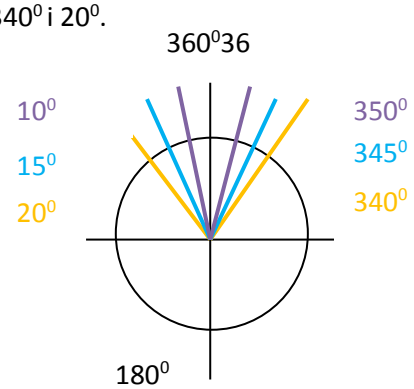


Figura 113. Canvis en l'angle d'orientació

A l'hora de provar el cas 3, la plataforma va respondre adequadament i va fer el desplaçament amb un marge d'error molt petit. En aquest cas, només es va fer el desplaçament amb els marges d'angle de 10^0 i 350^0.

Finalment, es va provar també la plataforma amb el cas 4, quan aquesta es troba totalment girada, a 180^0. Els resultats van ser igualment satisfactoris.

En general, les proves de camp d'aquesta darrera prova van ser realment satisfactòries. Es van poder treure gràfiques, que demostren el correcte funcionament del algoritme 2. Tota l'experiència s'explicarà més endavant en l'apartat de resultats experimentals.

Per a les proves de l'algoritme 1,abans d'anar al camp es van fer un canvis en el codi ja que en les proves anteriors aquest no es comunicava bé amb la plataforma. Es va incloure un *wait* de 5s (variable temps) dins el bucle *while*. Primer el codi executa les condicions que hi ha a dins i després el *wait* s'espera en funció del temps restant o un múltiple. Per exemple si el *wait* és de 5s i els condicionals de dins tarden 4 segons aquest *wait* sols s'esperarà 1s, però en canvi si el *wait* és de 5s i els condicionals tarden 6 segons, el *wait* calcula el múltiple de 5, que serien 10 segons per lo tant la resta són 4s, temps que s'ha d'esperar a executar el *while* un altre cop.

Les proves al camp van ser força satisfactòries, ja que dels 4 casos que es van plantejar 3 d'ells és van realitzar exitosament. Els casos realitzats van ser els cas 1, el cas 2 i el cas 3.

En el cas 1, quan la plataforma està encarada al punt final, aquest el feia perfecte, ja que els dos vectors que es calculen en tot moment són proporcionals.

En cas 2, quan la plataforma està girada 90˚ cap a la dreta. Al fer la primera prova, la plataforma va arribar al punt. Però després es va decidir canviar el rang de la variable dif. Paral·lel per comparar diferents casos. Llavors es va arribar a la conclusió de que si s'assignava un valor menor a la variable difPAralel, la plataforma no feia girs tant grans, com es veurà més endavant en els gràfics de les proves. Però això només passa depenent del quadrant en el que es troba la plataforma.

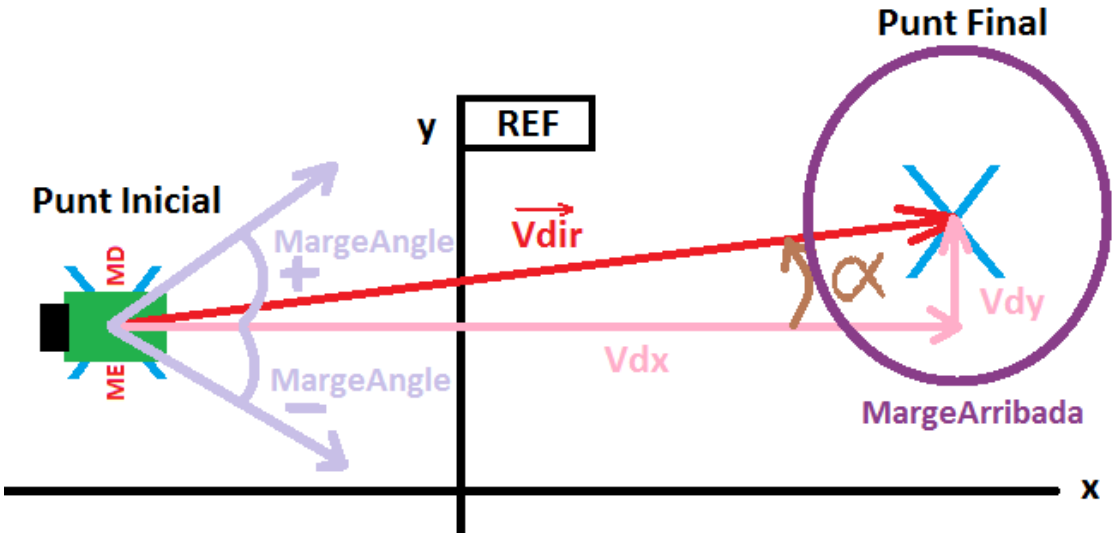


Figura 114. Diagrama amb la variable MargeAngle que es calcula a partir de la variable introduïda per l'usuari difParal·lel.

En el cas 3, passava el mateix que en el cas 2. Es van provar diferents valors per la variable difParalel, aconseguint arribar al punt i parar-se quan la variable difParalel era de 3˚.

El cas 4 no es va arribar a provar ja que ens vam quedar sense bateria, però se suposa que hagués anat cap al sentit contrari del punt final, ja que en aquest instants els vectors serien diferents però oposats. Als inicis del projecte és va contempla la possibilitat de que la plataforma anés endarrere, però al final és van descartar aquestes modificacions ja que la plataforma en teoria sempre hauria d'anar endavant.

6.2. Resultats experimentals

Per tal de poder estudiar bé el comportament de la plataforma, s'ha creat un arxiu txt que es va actualitzant cada vegada que la plataforma inicia un desplaçament cap al punt final. Aquest arxiu guarda 20 posicions cada segon que va agafant la plataforma i el temps que triga en desplaçar-se d'un punt a l'altre, tal i com s'ha explicat en el capítol5.

Per a poder comparar de manera gràfica i amb més precisió el comportament de la plataforma amb els dos algoritmes, s'han definit 4 situacions, explicades en l'apart 6.1, prova 12.

A continuació es mostren els resultats de les quatre situacions.

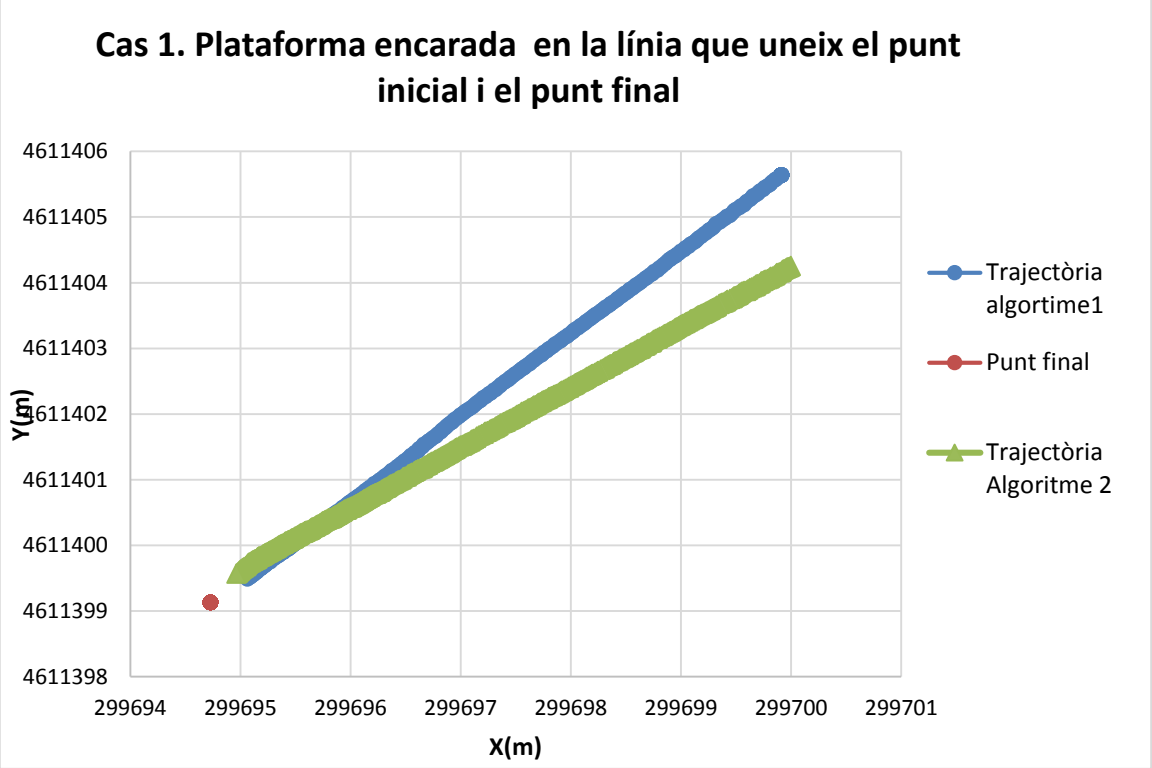
Cas 1: Plataforma encarada en la línia que uneix el punt inicial amb el punt final

A continuació es pot veure una figura on es representa el primer cas. Recordar que el quadrat negre representa la part davantera de la plataforma automotriu.

Figura 115. Representació del cas 1.

Per tal d'analitzar aquest cas, s'han superposat les trajectòries que ha descrit la plataforma pels dos algoritmes. Es pot observar que en el punt inicial es troben una mica separades. Això pot ser degut a que la plataforma és de grans dimensions i resulta difícil col·locar-la en la mateixa posició per a tots els assajos. En ambdós casos segueix una trajectòria totalment recta, ja que estava encarada i no feia falta fer ziga-zagues per a trobar l'orientació correcta.

Pels dos casos la plataforma ha parat dintre del marge de distància establert per l'usuari, per això s'aprecia diferència entre el punt final exacte i el punt final on ha parat la plataforma.



Gràfica 1. Cas 1, plataforma encarada en la línia d'unió del punt inicial amb el punt final.

Amb l'algoritme 1, la plataforma ha tardat 36 segons, mentre que amb l'algoritme 2, ha estat un temps de 42 segons.

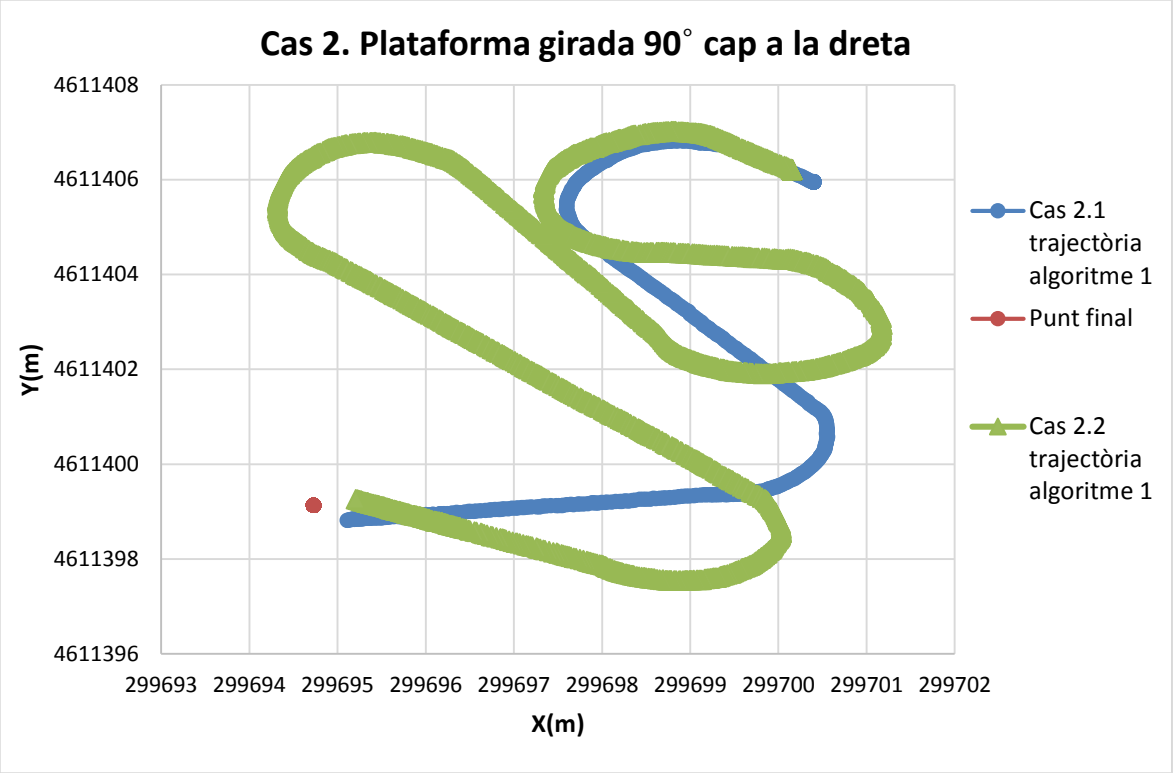
Pel que fa al número de posicions, dades enmagatzemades en l'arxiu de tipus txt creat en el Labview (explicat en apartats anteriors), per les quals passa la plataforma, en el cas de l'algoritme 1, són 397 posicions, i amb l'algoritme 2, 562.

Amb aquests resultats, es podria dir que la plataforma aconsegueix desplaçar-se fins al punt final quan es troba totalment encarada de manera més precisa amb l'algoritme 1, ja que triga menys temps en recórrer la distància fins al punt objectiu.

<u>Cas 2: Plataforma girada90° cap a la dreta</u>

Figura 116. Representació del cas 2.

A continuació es pot veure la trajectòria seguida per la plataforma amb l'algoritme 1.



Gràfica 2. Situació de la plataforma en el cas2 de l'algoritme 1.

Tal i com s'ha explicat en l'apartat d'avaluació experimental, a partir de les variables MargeAngle i difParal·lel, introduïdes per l'usuari, s'han escollit diferents valors de la variable difParal·lel per tal de poder comprovar el comportament de la plataforma en diferents situacions.

Cas 2.1. La plataforma es troba girada cap a la dreta. La trajectòria marcada en blau indica el desplaçament fet per la plataforma amb un valor de 5° en la *variable difParal·lel* considerant que la plataforma es troba orientada si el valor que es calcula per la variable MargeAngle es troba dintre dels marges de 5^0 i -5^0. Com es pot observar, aconsegueix fer la trajectòria fins arribar al punt final, tenint sempre en compte els marges de distància.

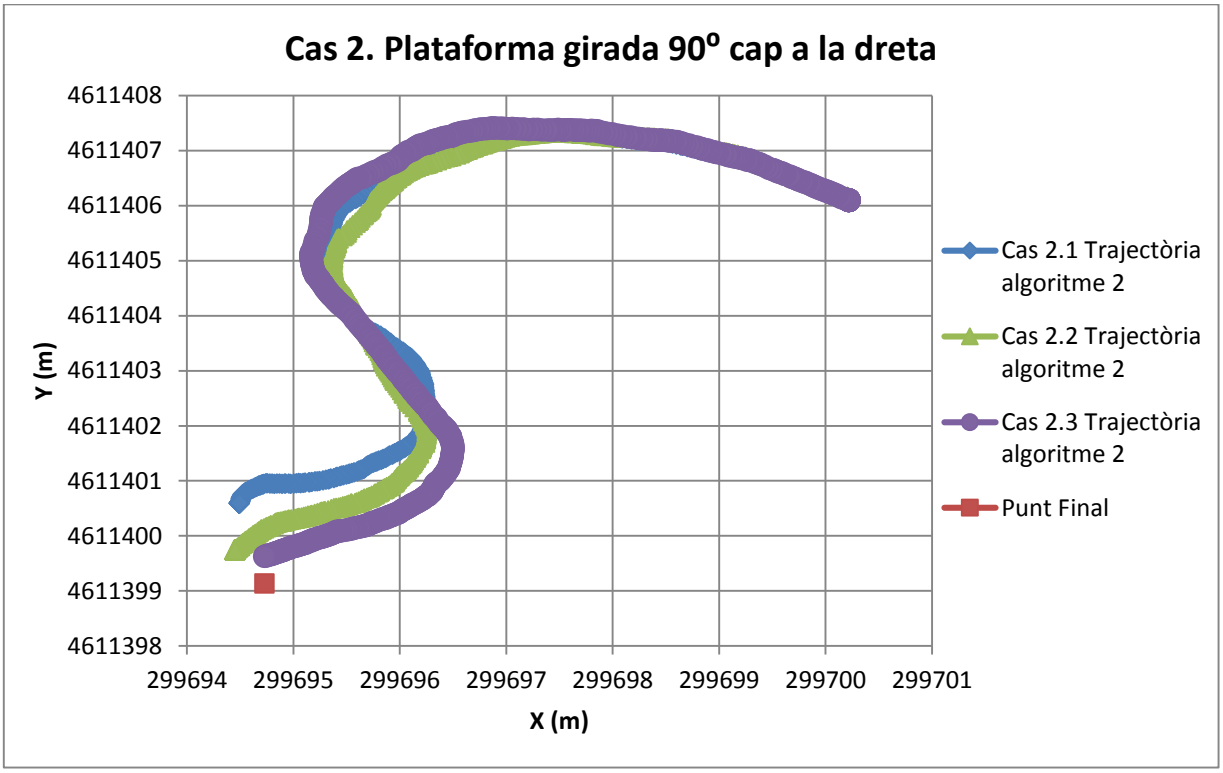
Cas 2.2. La plataforma es troba també girada cap a la dreta. En aquest cas, la línia marcada de color verd indica el desplaçament fet per la plataforma amb un valor de 3° en la *variable difParal·lel* considerant que la plataforma es troba orientada si el valor que es calcula per la variable MargeAngle es troba dintre dels marges de 3^0 i -3^0. Com es pot observar, aconsegueix fer la trajectòria fins arribar al punt final, tot i que donant molts més girs i tenint en compte també els marges de distància.

Es pot veure una gran diferència en les dues trajectòries, ja que en una només fa dos girs i en l'altra uns quants més. En el primer gir la plataforma ja hauria d'encarar-se i anar cap al punt, però com que els vectors que es comparen són els formats pel punt final i inicial, i punt actual i inicial, en aquell moment els vectors són quasi proporcionals i per això la plataforma decideix anar endavant, mentre els dos vectors són quasi proporcionals entra dins d'aquest condicional explicat anteriorment i per això quan passar per sobre el punt d'unió entre el punt final i inicial aquesta tira endavant però en la direcció equivocada. Un cop surt d'aquest rang és quan tornar a girar cap a l'esquerra i així fins arribar al punt final.

Amb l'algoritme 1 la plataforma a tardat 53 segons en el cas 2.1 i ha tardat 1 minut i 56 segons en el cas 2.2 1 minuts.

I el número de posicions que agafa en el cas 2.1 són 665i en el cas 2.2 són1928.

A continuació es pot veure la trajectòria de l'algoritme 2.



Gràfica 3. Situació de la plataforma en el cas2 de l'algoritme 2.

Tal i com s'ha explicat en l'apartat d'avaluació experimental, s'han escollit diferents marges d'angle per tal de poder comprovar el comportament de la plataforma en diferents situacions.

Cas 2.1. La plataforma es troba girada cap a la dreta. La trajectòria marcada en blau indica el desplaçament fet per la plataforma amb uns marges d'angle d'orientació de 10^0, 180^0 i 350^0, considerant que la plataforma es troba orientada si el valor de l'angle es troba dintre dels marges de 350^0 i 10^0. Com es pot observar, aconsegueix fer la trajectòria fins arribar al punt final, tenint sempre en compte els marges de distància. En aquest primer cas, la plataforma ha tardat 1 minut i 2 segons en recórrer tota la trajectòria, agafant en total 730 posicions.

Cas 2.2. La plataforma es troba també girada cap a la dreta. En aquest cas, la línia marcada de color verd indica la trajectòria de la plataforma, considerant que la plataforma es troba orientada dintre dels marges d'angle de 345^0i 15^0.En segon cas, ha realitzat el desplaçament amb 655 posicions registrades, en un temps de 54 segons.

Cas 2.3. La plataforma es troba girada cap a la dreta. En aquest cas, es considera que la plataforma està encarada quan el valor de l'angle es troba dintre del marge de 340^0i 20^0. La trajectòria seguida per la plataforma està marcada de color lila. En aquesta trajectòria es podria dir que la plataforma assoleix el punt final amb més precisió que en els altres dos casos. Això és degut a que els marges d'orientació ajuden a que la plataforma no faci tants girs, i que si el valor de l'angle es troba dintre dels marges ampliats, seguirà desplaçant-se endavant. Amb aquestes condicions, ha trigat 48 segons en fer el recorregut i amb 656 posicions registrades.

En tots tres casos, la plataforma fa gairebé el mateix moviment. Es fa una corba pronunciada per a girar els 90^0 i orientar-se. Com el moviment de gir és bastant gran, es veu obligada a fer zig-zag i tornar a encarar-se més tard.

Amb els resultats de temps i número de posicions registrades, es podria dir que com més marge s'estableixi per a definir l'orientació correcta de la plataforma, més ràpid aconsegueix arribar al punt final. És a dir, com s'ha considerat que amb angles compresos entre els 340^0i 20^0 indiquen que la plataforma està encarada cap al punt final, no ha sigut necessari realitzar moviments repetitius de ziga-zagues, perquè ha trobat la seva orientació més ràpidament. Pel que fa al número de posicions, també ha disminuït, degut al mateix cas d'orientació.

Amb aquests resultats, es podria dir que la plataforma aconsegueix desplaçar-se fins al punt final quan es troba a 90° girada cap a la dreta de manera més precisa amb l'algoritme 2 utilitzant el cas 2.3, ja que triga menys temps en recórrer la distància fins al punt objectiu. Tot i que si s'utilitzés qualsevol dels altres casos de l'algoritme 2, l'algoritme 1 seria l'òptim ja que només ha tardat 53 segons.

.

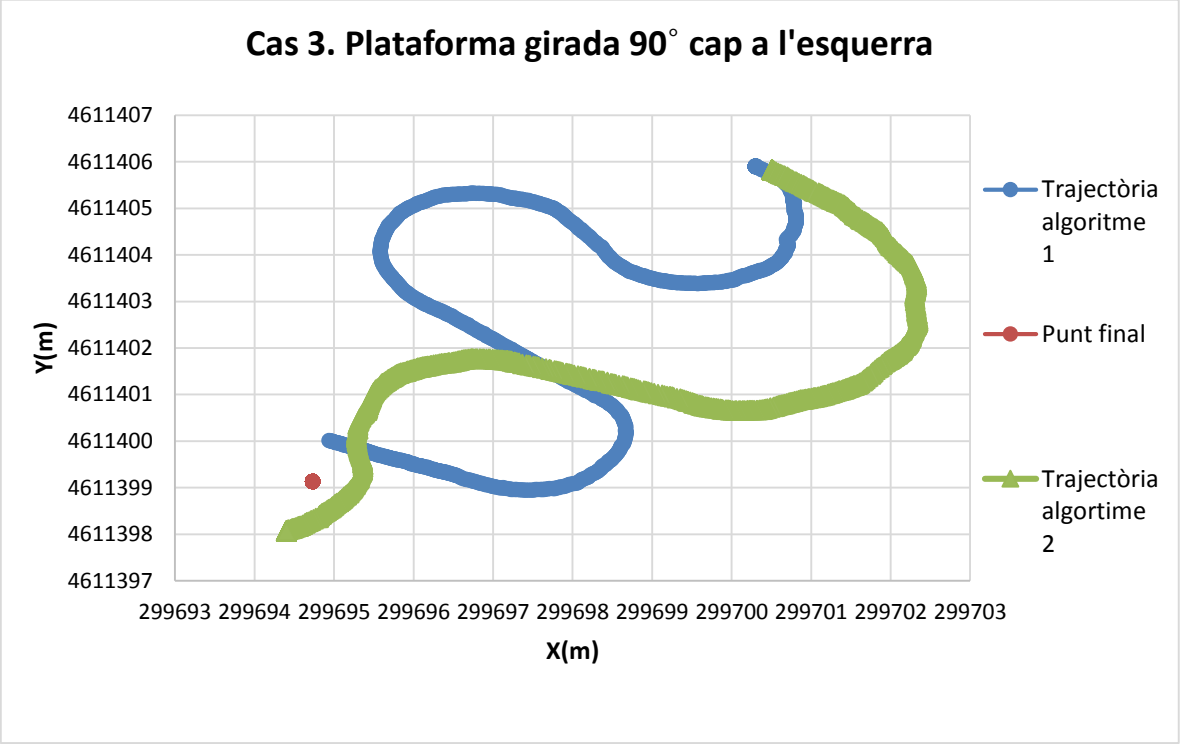
Cas 3: Plataforma girada90° cap a l'esquerra

A continuació es pot veure una figura on es representa el tercer cas.

Figura 117. Representació del cas 3.

Per tal d'analitzar aquest cas s'han superposat les trajectòries seguides amb els dos algoritmes. Es pot observar que l'algoritme 2 fa una trajectòria més curta, estalviant-se moviments i així és més eficient.

En aquest cas, la plataforma quan actuava amb l'algoritme 1 ha parat dins el marge establert per l'usuari i el primer gir no ha estat tant pronunciat. En canvi, quan actuava amb l'algoritme 2, es pot veure que la plataforma va continuar el seu moviment, per intentar agafar el punt des d'un altre costat i amb un gir inicial molt més pronunciat.



Gràfica 4. Cas 3

Encara que amb l'algoritme 2 faci menys zig-zag, el número de posicions emmagatzemades és gairebé el mateix, amb l'algoritme 1s'utilitzen ,967 posicions, i amb l'algoritme 2 ,962.
En quant al temps emprat, la plataforma ha realitzat el recorregut amb l'algoritme 1 en un temps de 1 minut i 27 segons, mentre que ha necessitat 1 minut i 4 segons amb l'algoritme 2.

Per tant, quan es dóna el cas en què la plataforma es troba girada 90^0 cap a l'esquerra respecte el punt final, realitza un moviment més eficient amb l'algoritme 2, ja que és capaç de fer-ho amb menys temps.

Cas 4: Plataforma girada180°

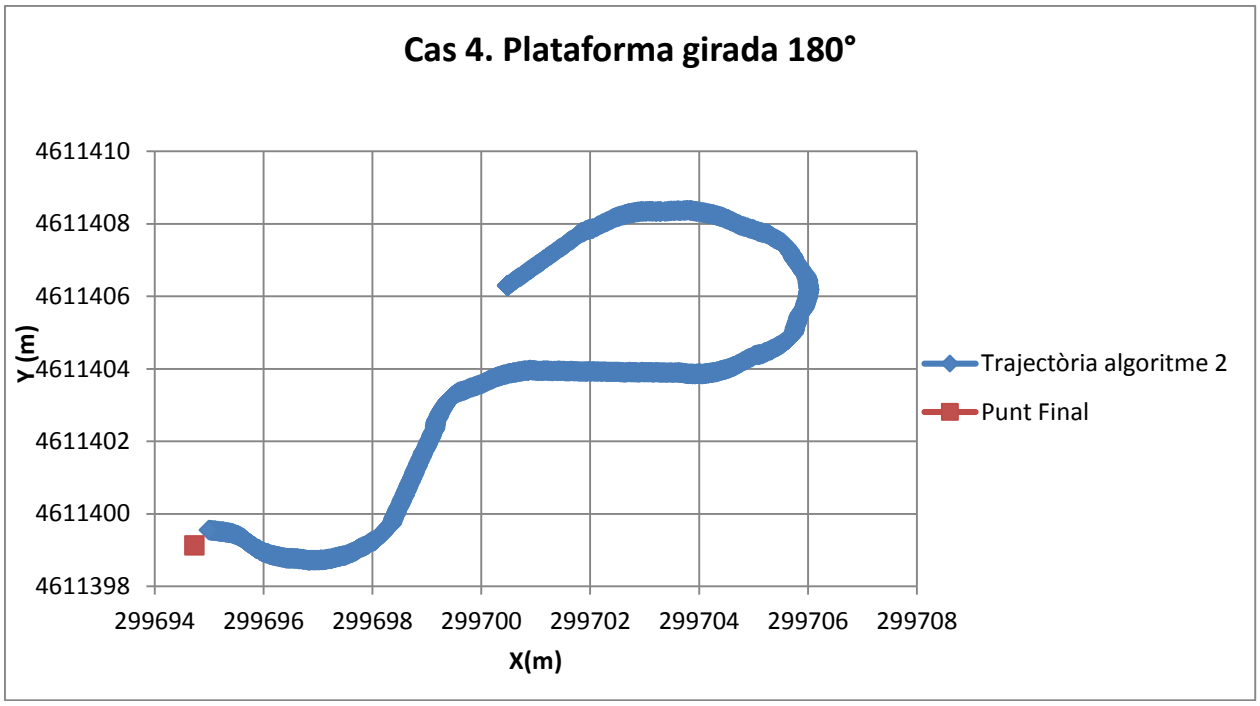
A continuació es pot veure una figura on es representa el tercer cas.

Figura 118. Representació del cas 4, plataforma girada 180^0

Com s'ha explicat anteriorment, el cas 4 no es va arribar a provar amb l'algoritme 1 ja que ens vam quedar sense bateria, però se suposa que hagués anat cap al sentit contrari del punt final, ja que en aquest instants els vectors serien diferents però oposats. Als inicis del projecte és va contempla la possibilitat de que la plataforma anés endarrere, però al final és van descartar aquestes modificacions ja que la plataforma en teoria sempre hauria d'anar endavant. Per tant, no tenim cap registre per extreure posicions ni temps.

En el cas de l'algoritme 2, com es pot veure en la gràfica següent, la plataforma ha seguit una trajectòria del mateix tipus que en els casos anteriors. Primer ha d'encarar-se, i per fer-ho gira cap a un costat o cap a l'altre, depenent de l'angle de gir que té respecte el punt final. En aquest cas, va girar cap a l'esquerra. Després fa una sèrie de desplaçaments basats en ziga-zagues. Arriba al punt de destí gairebé de manera exacta.

Degut a que la plataforma havia de girar completament, el número de posicions registrades és molt més elevat que en els altres casos, amb 1740 posicions. El temps emprat en fer el recorregut és 1 minut i 35 segons, cosa que concorda amb el número de posicions registrades, ja que necessitava realitzar molts més moviments.



Gràfica 5. Cas 4 amb l'algoritme 2.

7. Conclusions

Es pot dir que s'ha assolit el principal objectiu plantejat en aquest treball, que era el disseny i la implementació d'algoritmes per aconseguir la navegació autònoma d'una plataforma d'ús agrícola.
Com a síntesi de les tasques realitzades, en aquest treball s'ha realitat un estudi de l'estat de l'art relatiu a robòtica agrícola, s'ha analitzat l'estructura i funcionament de la plataforma desenvolupada pel Grup de Recerca en Agricultura de Precisió, s'ha realitzat un aprenentatge de programació amb LabVIEW, s'han desenvolupat dos algoritmes de navegació utilitzat aquest software i s'han implementat aquests algoritmes, testejant-los experimentalment en camp.

Els resultats experimentals permeten concloure que els dos algoritmes han complert els objectius establerts. Però comparant els resultats obtinguts en les avaluacions experimentals, es pot veure que els dos algoritmes arriben al punt final, i depenent de cada un realitza un trajectòria o una altra. Però en canvi en el cas 4 (plataforma girada 180^0), l'algoritme 2 compleix més les expectatives que s'han establert, ja que aquest si arriba al punt final. I encara que amb l'algoritme 1 no s'ha pogut provar, s'intueix el que hauria passat, tot i que sense tenir cap prova no es pot obtenir una conclusió definitiva.

Pel que fa als temps d'execució, no varien gaire d'un algoritme a l'altre. Tot i que en el cas en que la plataforma està girada 90° cap a l'esquerra (cas 3) l'algoritme 2 és més eficient que l'algoritme 1. En tots els altres casos els temps dels dos algoritmes són molts semblants i com que les mesures que es van prendre tampoc són del tot iguals pels dos algoritmes, considerem que els dos són excel·lents candidats per l'execució de la plataforma.

Al tractar-se d'un treball d'implementació i de treball al camp, han anat sorgint diferents problemes a l'hora d'executar el programa i moure la plataforma de manera completament autònoma, ja fos degut a problemes de hardware o bé, del propi programa desenvolupat. Al mateix temps, diferents decisions preses han provocat que el ritme de treball, pel que fa a resultat quantificable, sigui més lent.

També cal mencionar que el fet de no disposar de la plataforma en un lloc proper per a poder-hi treballar amb ella diàriament, comporta haver de treballar moltes hores sense poder provar els resultats que es van obtenint a la plataforma.

D'altra banda, els treballs d'aquest tipus, basats en implementacions reals, també tenen una part positiva ja que és fàcil tenir un feedback immediat del treball realitzat a diari i on es poden observar els resultats que es van obtenint.

En un futur, s'haurien de perfeccionar els algoritmes, fer la finalització del programa més neta i reduir els moviments, ja que així també s'estalvia temps i comunicacions entre la plataforma i l'ordinador, que moltes vegades són innecessàries. El fet de que la plataforma es desplaci fent ziga-zagues provoca que es necessiti més quantitat de temps per a assolir l'objectiu desitjat.
També cal dir que un dels treballs futurs amb aquesta plataforma seria la implementació del sensor LIDAR, nombrat en seccions anteriors, per a poder fer que la plataforma sigui autònoma completament.
Cal dir que els algoritmes actuals no tenen en compte la presència d'obstacles en les trajectòries, la implementació d'aquest sensor i dels algoritmes corresponents, permetria la presa de decisions davant d'obstacles.

De manera personal, creiem que el fet d'haver realitzat el treball en parella ha fet que ens poguéssim bolcar molt més en l'elaboració dels algoritmes, doncs hem partit gairebé des de zero amb el LabVIEW i això ha ajudat a treballar des del primer dia familiaritzant-nos amb l'entorn de LabVIEW.
Encara que no coneguéssim el programa, tenim una base de programació adquirida durant la carrera i aquesta s'ha pogut demostrar creant aquest algoritmes.

També ens ha ajudat per a la realització del projecte conèixer l'ampli camp de la robòtica, i totes les aplicacions que aquesta té en el dia a dia.

Per acabar dir que ha estat un any molt dur compaginant la feina en una empresa i el treball de fi de grau, però ens sentim molt orgulloses dels resultats obtinguts.

Bibliografia

Auat, F., & Carelli, R. (2013). Agricultural Robotics Unmanned Robotic Service Units in Agricultural Tasks. *IEE Industrial Electronics Magazine*, 7(3), 48-49-

García Pérez, L. (2004). *Navegación autónoma de robots en agricultura.*Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

Gilaberte Sanz, M. E. (2003). *Implementación de sensores de ultrasonidos en un sistema autónomo en tiempo real.*Proyecto Final de Carrera. Universidad Politécnica de Madrid.

Murphy, R. R. (2000). *Introduction to AI Robotic.* Massachussets Institute of Tecnology.

National Instruments. Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW. Online : http://www.ni.com/LabVIEW/esa/(consultat gener 2015)

Orello, A. (2001). *Robótica, Manipuladores y robots móviles.* Editorial Marcombo.

Leedy, B. M. (2006).*Two minds for one vehicle: A case study in deliberative and reactive navigation.*

Rosell Polo, J., Sanz, R., Llorens, J., Arnó, J., Escolà, A., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Camp, F., Gràcia, F., Solanelles, F., Pallejà, T., Val, L., Planas, S., Gil, E., Palacín, J.(2008). *A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements.*Biosystems Engineering 102(2), 128-134.

Rovira Más, F., Zhang, Q., & Hansen, A. C. (2010). *Mechatronics and Intelligent Systems for Off-road Vehicles.*Springer-VerlagLondon.

Sanz Alonso, I. (2008). *Generación de trayectorias con Player para la navegación de un robot móvil en espacions inteligentes.*Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Alcalá.

Segerbald, E., & Delight, B. (2012). *Machine Vision in Agricultural Robotics.*

Tarlea Jiménez, J. (2009). *Sistema de posicionamiento mediante visión estéreo embarcable en vehículos inteligentes.* Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Alcalá

Wei, J., Han, S., Rovira Más, F., & Reid, J. (2005). A method to obtain vehicle guidance parametres from crop row images. ASAE Annual International Meeting (Pub. num. 051155). Tampa, FL, USA.

Weiss, U., & Biber, P. (2011). Plant Detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor. *Robotics and Autonomous Systems*, , 59(5), 265-273.

Yu, H., Zhu, J., Wang, Y., Jia, W., Sun, M., & Tang, Y. (2014). Obstacle Classification and 3D Measurement in Unstructured Environments Based on ToF Cameras..Sensors, 14(6), 10753–10782.