

UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE
DEPARTAMENTUL AUTOMATICĂ ȘI
INFORMATICĂ INDUSTRIALĂ



PROIECT DE DIPLOMĂ

Robot autonom de tuns iarba

Brăileanu Andreea-Simona

Coordonator științific:

Conf.dr.ing. Ștefan Alexandru Mocanu

BUCUREȘTI

2018

CUPRINS

1	Introducere	1
1.1	Problema	2
1.2	Obiective	2
1.3	Soluția propusă	2
1.4	Structura lucrării	3
2	Studiu de Piață	4
3	Caracteristici tehnico-funcționale ale componentelor hardware	8
3.1	Motoare de acționare roți	8
3.2	Motor de acționare lamă de tăiat	12
3.3	Alimentare robot	13
3.4	Placa de dezvoltare	14
3.5	Proiectare carcasă	15
4	Evitarea obstacolelor	18
4.1	Principiul de funcționare	18
5	Delimitarea perimetrului cu fir de frontieră	20
5.1	Circuit transmițător	20
5.2	Circuit receptor	23
6	GPS Diferențial (DGPS)	27
6.1	Sistemul global de poziționare (GPS)	27

6.2	Protocoale de transmisie GPS	30
6.3	Principiul de funcționare GPS	32
6.4	Erori generate de GPS	33
6.5	Principiu de funcționare DGPS	35
6.6	GPS Diferențial bazat pe un domeniu de poziții	36
6.7	GPS Diferențial bazat pe un domeniu cu intervale de variații	37
6.8	Erori generate de GPS Diferențial	38
6.9	Implementare sistem GPS Diferențial	39
7	Arhitectură	43
8	Concluzii	47
9	Îmbunătățiri viitoare	48
9.1	Maparea perimetrului	48
9.2	Stație de încărcare	48
9.3	Proiectare circuit electronic imprimat	49
9.4	Lame de tăiat iarba pivotante	49
9.5	Aplicație mobilă	50
9.6	Sistem antifurt	51
10	Anexe	53
10.1	Acronime	53

REZUMAT

În societatea de astăzi, roboții au un impact din ce în ce mai mare în activitățile oamenilor de zi cu zi și sunt construiți cu scopul de a servi nevoilor acestora. Această lucrare prezintă dezvoltarea și implementarea unui robot autonom de tuns iarba în vederea automatizării procesului de tundere a gazonului care conduce la reducerea dependenței umane în cadrul acestei activități. Robotul este capabil să se localizeze într-un perimetru delimitat prin instalarea unui fir de frontieră și să evite obiecte atât statice, cât și dinamice.

1 INTRODUCERE

În societatea de astăzi, roboții au un impact din ce în ce mai mare în activitățile oamenilor de zi cu zi, iar domeniile în care aceștia sunt utilizați sunt vaste. Există roboți utilizați în diverse industrii, roboți care operează într-un mediu închis, precum casele noastre, roboți capabili de a reproduce capacitățile umane sau care au ca rol interacțiunea cu omul. Scopul principal al roboților este de a reduce dependența umană în ceea ce privește îndeplinirea unei sarcini de lucru.

Cea mai recentă predicție din partea Federației Internaționale de Robotică (IFR) din data de 11 octombrie 2017, atestă că vânzarea de roboți pentru uz profesional o să crească cu 12% până la sfârșitul anului 2017, ajungând la un nou record de 5,2 miliarde de dolari, iar prognoza pe termen lung este de asemenea pozitivă, cu o rată medie de creștere de 20-25% în perioada 2018 - 2020. De asemenea, piața pentru roboții de uz personal care îi ajută pe oameni în viața lor de zi cu zi progresează rapid. Se preconizează că vânzările de roboți pentru sarcini interne (de exemplu: aspiratoare robot, robot de tuns iarba, de spălat podele, de curățare a geamurilor sau a piscinei) ar putea atinge o valoare estimată de aproximativ 11 miliarde de dolari în perioada 2018-2020. În Figura 1 se poate observa creșterea preconizată în perioada 2018-2020 pentru roboții de uz casnic, măsurată în milioane de unități.

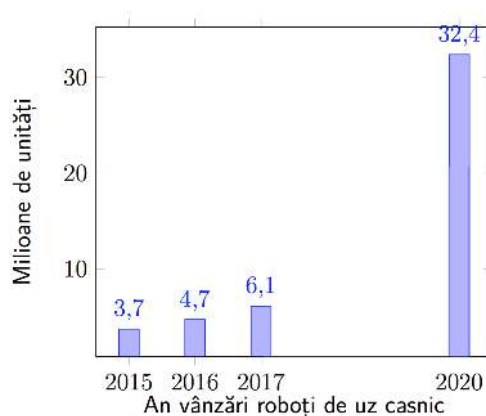


Figura 1: Vânzări roboți pentru uz casnic. Prognoză 2018 - 2020¹

¹ https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_Service_Robots_2017_1.pdf, accesat la data de 08.03.2018

1.1 Problema

Majoritatea caselor moderne sunt prevăzute cu grădină interioară, unde iarba trebuie să fie menținută la un nivel redus pentru ca oamenii să se bucure de un gazon sănătos. Această activitate poate reprezenta o problemă deoarece a cosi gazonul în modul tradițional, de mână, necesită mult timp și poate fi periculos. Chiar și utilizarea unei mașini manuale de tuns iarba prezintă dezavantajul dependenței umane și consumului de timp.

Soluția este folosirea unei mașini de tuns iarba autonome special proiectată pentru a îndeplini această sarcină care poate, de asemenea, acționa ca un ajutor pentru proprietarii de case care nu mai pot îndeplini sarcini fizice solicitante, cum ar fi persoanele în vârstă sau persoanele cu dizabilități. Mulți bătrâni se bucură de întreținerea gazonului, dar nu mai pot simți satisfacția de a-și îngriji grădina datorită cerințelor fizice ale echipamentului de cosit.

1.2 Obiective

Proiectul își propune dezvoltarea unui robot autonom de tuns iarba special proiectat pentru o înălțime mică de tăiere (între 2 și 6 cm) și care își dorește să îndeplinească o serie de funcționalități precum evitarea obstacolelor întâlnite în direcția de mers, recunoașterea spațiului de lucru, generarea traiectoriei în cadrul unui perimetru delimitat și implementarea unui sistem de GPS diferențial care să permită afișarea locației corectate a robotului.

1.3 Soluția propusă

Pentru a oferi autonomie robotului de tuns iarba, acesta trebuie să fie capabil să decidă singur în ce zonă din grădină va trebui să tundă gazonul și unde nu îi este permis accesul. Îndeplinirea acestei cerințe presupune utilizarea unui fir de frontieră care va fi instalat de către utilizator o singură dată și care va delimita spațiul de lucru al robotului, urmând ca robotul să nu acționeze în afara perimetrului stabilit. Implementarea abordată presupune realizarea unui circuit transmițător și a unui circuit receptor. Totodată, robotul va fi dotat cu senzori care să permită evitarea obstacolelor aflate în direcția de mers.

De asemenea, robotul se va putea localiza prin intermediul unui sistem de GPS diferențial în

care se vor corecta erorile generate de modulul GPS.

1.4 Structura lucrării

În continuarea lucrării sunt evidențiate o serie de aspecte importante care au dus la realizarea proiectului, fiecare dintre acestea descrise într-un capitol separat:

- Studiu de piață, unde este prezentat un studiu raportat la modelele de mașini de tuns iarba autonome existente pe piață la momentul actual și sunt evidențiate specificațiile acestora.
- Caracteristici tehnico-funcționale ale componentelor hardware, unde sunt prezentate o parte din componentele hardware, împreună cu motivația din spatele alegerii lor, dar și detalii privind partea mecanică a construirii robotului.
- Evitarea obstacolelor, unde este prezentat principiul de funcționare al robotului de tuns iarba în situația în care sunt detectate obstacole.
- Delimitarea perimetrului cu fir de frontieră, unde este prezentat în detaliu sistemul transmițător-receptor care permite robotului să se plaseze în interiorul perimetrului delimitat de firul de frontieră, dar și rezultatele testelor realizate.
- GPS Diferențial (DGPS), unde sunt prezentate principii de funcționare ale modulului GPS, împreună cu descrierea protocoalelor de transmisie utilizate, dar și erorile generate de acest modul, erori care prezintă importanța implementării unui sistem de corecție a erorilor generate - GPS Diferențial, unde sunt prezentate două modalități de a calcula corecția erorilor și implementarea sistemului în cadrul robotului de tuns iarba.
- Arhitectură, unde este prezentată schema bloc a întregului sistem și este descrisă modalitatea prin care componentele comunică, la nivel software, dar sunt prezentate și conexiunile de la nivelul hardware.
- Concluzii, unde sunt prezentate ideile de final ale proiectului.
- Îmbunătățiri viitoare, unde sunt prezentate o serie de îmbunătățiri care se pot implementa asupra prototipului realizat, în vederea creerii unui robot mult mai performant și robust.

2 STUDIU DE PIAȚĂ

În acest capitol este prezentat un studiu raportat la modelele de mașini de tuns iarba autonome existente pe piață la momentul actual și sunt evidențiate specificațiile acestora.

Printre modelele de mașini de tuns iarba autonome încadrate în Top 10 2018 se înnumără ROBOMOW RS635, HUSQVARNA Automower 450X, BOSCH INDEGO 400 CONNECT, prezente în Figura 2.



Figura 2: Modele de mașini de tuns iarba prezente în Top 10 în anul 2018¹

Toate aceste modele se bazează pe același principiu de funcționare în care există un fir de frontieră instalat de către utilizator, respectându-se o serie de reguli pentru a se realiza o instalare corectă care va permite mașinii de tuns iarba să detecteze corespunzător perimetrul delimitat. Aceste reguli sunt prezentate pentru fiecare model în manualul de utilizare. Un exemplu de ilustrare a modalității de instalare a firului de frontieră este prezentat în Figura 3.

Aceste modele de mașini de tuns iarba își creează un model de mișcare neregulat și este determinat de mașina de tuns în mod aleator sau semi-aleator identificat ca model principal (Figura 4).

¹<https://www.husqvarna.com/ro/products/masini-robotizate-de-tuns-gazonul/automower-450x/967622616/>, accesat la data de 10.03.2018

¹<https://www.lawnmowersdirect.co.uk/product/bosch-indego-400-connect/>, accesat la data de 10.03.2018

¹<http://plattshorticulture.co.uk/shop/robomow-rs635-pro-sx-robotic-lawnmower-install-kit/>, accesat la data de 10.03.2018

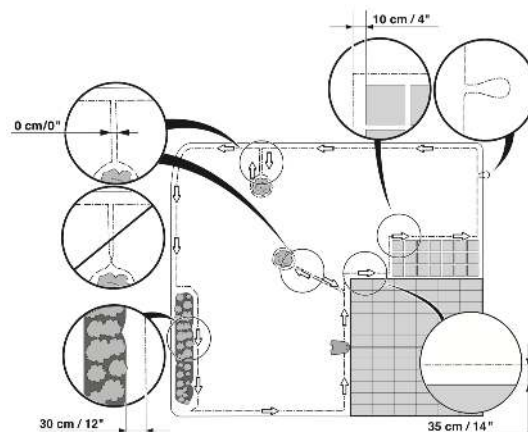


Figura 3: Exemplu de instalare fir de frontieră pentru modelul HUSQVARNA Automower 450X²

Modelul ROBOMOW RS635 are doar modul principal integrat, traiectoria acestuia fiind generată aleator. Modelul BOSCH INDEGO 400 CONNECT are pe lângă modul principal și un mod în care traiectoria de tuns iarba generează un model linie cu linie.

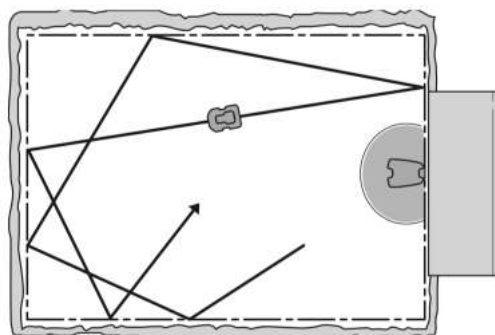


Figura 4: Traiectorie generată aleator de către HUSQVARNA Automower 450X³

Modelul HUSQVARNA Automower 450X are mai multe moduri: cel principal aleator, în spirală (Figura 5), dar și un mod în care mașina de tuns își creează automat un traseu în funcție de zonele din grădină care nu au fost acoperite. Ultimul mod este realizat prin integrarea unui modul de GPS, și astfel, în timp ce mașina tunde iarba, este stocată în memorie o hartă a grădinii în care se reține și poziția firului de frontieră. Pe măsură ce iarba este tunsă, harta se

²https://www.myrobotcenter.eu/en/downloads/dl/file/id/952/husqvarna_automower_420_430x_450x_manual.pdf, accesat la data de 11.03.2018

³https://www.myrobotcenter.eu/en/downloads/dl/file/id/952/husqvarna_automower_420_430x_450x_manual.pdf, accesat la data de 11.03.2018

actualizează, iar cu ajutorul unui sistem de navigare, mașina de tuns se poate deplasa dintr-un punct în altul pentru a se asigura un procent cât mai mare de acoperire a grădinii.

După cum se poate observa în Tabela 1, doar modelul HUSQVARNA Automower 450X dispune de navigare asistată de GPS, de unde rezultă și prețul ridicat.

Față de modelul BOSCH INDEGO 400 CONNECT, modelele HUSQVARNA Automower 450X și ROBOMOW RS635 au dimensiunea, greutatea, capacitatea bateriilor și aria maximă de acoperire mai mare. Astfel se justifică prețul de aproape trei ori mai mare față de modelul BOSCH INDEGO 400 CONNECT.

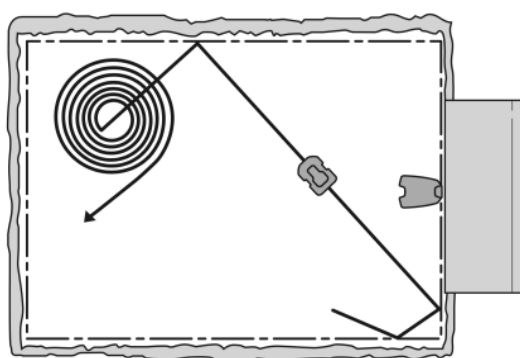


Figura 5: Traiectorie în spirală - HUSQVARNA Automower 450X⁴

⁴https://www.myrobotcenter.eu/en/downloads/dl/file/id/952/husqvarna_automower_420_430x_450x_manual.pdf, accesat la data de 11.03.2018

Tabela 1: Specificații ROBOMOW RS636, HUSQVARNA 450X, BOSCH INDEGO 400 CONNECT

Specificație	ROBOMOW RS636	HUSQVARNA 450X	BOSCH 400
Arie maximă	3500 m ²	5000 m ²	400 m ²
Motor lamă de tăiat	DC Brushless	DC Brushless	DC Brushless
Consum	33 kWh(pe lună)	35 W(tundere)	400 W
Tip baterie	Litiu 26 V	Li-ion 18 V	Li-ion 18 V
Capacitate baterie	6 Ah	10.4 Ah	2.5 Ah
Timp de tuns	80-100 min	290 min	30 min
Timp de încărcare	90-110 min	75 min	45 min
Înălțime de tuns	20-80 mm	20-60 mm	30-50 mm
Lungime de tăiere	56 cm	24 cm	19 cm
Număr lame	2	3	3
Dimensiuni robot	73.5x66x31 cm	72x56x31 cm	44.5x36.4x20.2 cm
Greutate robot	20.2 kg	13.9 kg	8 kg
Înclinație plan	20°	24°	15°
PIN	da	da	da
Alarmă	da	da	da
Senzor de ploaie	da	da	nu
Fir de frontieră	da	da	da
Navigare GPS	nu	da	nu
GSM inclus	da	nu	nu
Aplicație mobilă	da	da	da
Preț	2665€	3016€	1099€

3 CARACTERISTICI TEHNICO-FUNCȚIONALE ALE COMPONENTELOR HARDWARE

În acest capitol sunt prezentate o serie de componentele hardware, împreună cu motivația din spatele alegerii lor, dar și detalii privind partea mecanică a construirii robotului.

3.1 Motoare de acționare roți

Una dintre cele mai importante decizii în construirea unui robot este alegerea motoarelor de acționare. Se pornește de la o idee de bază a modelului robotului cu ajutorul căreia se vor calcula cerințele motoarelor, urmând să fie selectate motoarele cu specificațiile care îndeplinesc cel mai bine cerințele definite.

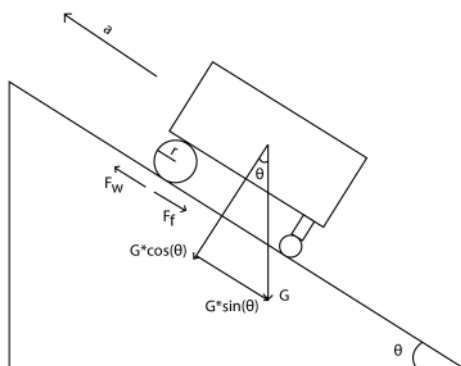


Figura 6: Forțele care acționează asupra robotului pe un plan înclinat

Considerăm o reprezentare simplă a unui robot cu două roți de acționare și două roți ajutătoare, de masă m și accelerație a , aflat pe un plan cu un unghi de înclinare θ ca în Figura 6.

Forța care acționează asupra robotului mobil reprezintă produsul dintre masă și accelerație:

$$F = ma \quad (1)$$

Forța care atrage robotul spre centrul Pământului datorită gravitației:

$$G = mg \quad (2)$$

Componenta tangențială a greutății corpului trage robotul în jos pe pantă și trebuie să fie depășită de motoarele de acționare. Cu cât unghiul de înclinare este mai mare, cu atât va fi mai mare această forță, iar înclinarea unui robot care încearcă să urce face o diferență semnificativă în cuplul necesar motoarelor de acționare.

$$F_T = mgsin\theta \quad (3)$$

Componenta normală a greutății corpului ține robotul pe pantă. Această forță este necesară împreună cu forța de frecare pentru a permite roților motoare să împingă robotul în față.

$$F_N = mgcos\theta \quad (4)$$

Forța de frecare se va ignora deoarece reprezintă ceea ce roțile motoare au nevoie pentru a împinge robotul înainte. În Figura 6, cuplul este forța de la marginea roților motoare care împing robotul înainte.

Cuplul T reprezintă măsurarea forței aplicate pentru a roti un corp în jurul unei anumite axe. În cazul unui robot mobil, corpul va fi roata, iar axa va fi motorul care acționează asupra roții.

$$Cuplul = ForțaDistanța \quad (5)$$

$$T = F_w r \quad (6)$$

unde F_w reprezintă forța care împinge robotul înainte.

Roțile motoare ale robotului (Figura 7) sunt concepute pentru un teren accidentat și au un diametru de 11 cm, ceea ce înseamnă că forța este aplicată la o distanță egală cu raza r de 0.055 m față de motorul de acționare. Datele considerate de referință sunt prezentate în Tabela 2.

Tabela 2: Datele considerate de referință

Specificație	Valoare
Masa robotului	6 kg
Viteza	0.5 m/s
Accelerația	5 m/s ²
Unghiul de înclinare(θ)	20°
Raza roților motoare(r)	0.055 m



Figura 7: Roată motoare a robotului destinată terenului accidentat

Presupunem că robotul va porni din starea de repaus și va trebui să accelereze până la viteză maximă pe planul înclinat.

La echilibru, robotul continuă să se deplaseze cu viteză constantă, iar toate forțele ce acționează asupra unui obiect se anulează reciproc.

$$\sum F = 0 \quad (7)$$

$$\sum F = f_{total} = F_w - F_T = 0 \quad (8)$$

Se consideră situația în care robotul accelerează din starea de repaus la viteză maximă pentru a avea siguranța că motoarele de acționare sunt suficient de puternice. Cuplul necesar pentru a pune robotul în mișcare poate fi mult mai mare decât pentru menținerea acestuia în mișcare. În acest caz, suma forțelor care acționează asupra robotului va fi egală cu masa totală înmulțită cu accelerația.

$$\sum F = f_{total} = F_w - F_T = ma \quad (9)$$

$$F_w = ma + F_T \quad (10)$$

$$T/r = ma + mg\sin\theta \quad (11)$$

$$T = m(a + g\sin\theta)r \quad (12)$$

$$T = 6(5\frac{m}{s^2} + 9.8\frac{m}{s^2}\sin(20))0.055m \quad (13)$$

$$T = 2.756Nm \quad (14)$$

Cuplul T este cuplul total necesar pentru a pune în mișcare robotul. Deoarece se folosesc două motoare de acționare, se împarte cuplul calculat în jumătate pentru a afla cuplul necesar

fiecărui motor în parte.

$$T_{motor} = 1.378 Nm \quad (15)$$

Pentru a afla cât de repede trebuie să se rotească motorul, aflăm viteza unghiulară:

$$v = wr \quad (16)$$

$$w = \frac{v}{r} = \frac{0.5 \frac{m}{s^2}}{0.055m} = 9.09 \frac{rad}{s} = 86.8 rpm \quad (17)$$

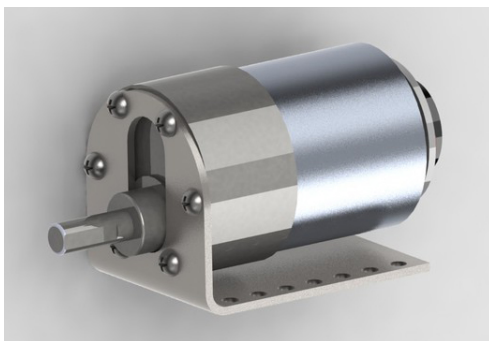


Figura 8: Motorul de curent continuu împreună cu suportul metalic¹

Luând în considerare valorile calculate pentru cuplu și viteză unghiulară, specificațiile motoarelor de curent continuu alese, care îndeplinesc cerințele prezentate mai sus, sunt prezente în Tabela 3.

Tabela 3: Specificațiile motoarelor de curent continuu alese

Specificație	Valoare
Cuplu	1,373 Nm
Viteză unghiulară	150 rpm
Tensiune de alimentare	3-12 V
Curent	300 mA (fără sarcină)/ 5 A (blocat)

Se observă faptul că în specificațiile motorului viteza unghiulară este mai mare decât cea calculată și că avem un cuplu egal cu cel calculat, ceea ce dovedește că motorul ales se încadrează în cerințele impuse.

Driver-ul de motoare dual, ilustrat în Figura 9, a fost ales în conformitate cu specificațiile motoarelor de curent continuu, mai exact în funcție de curentul consumat de acestea. Specificațiile se regăsesc în Tabela 4.

Tabela 4: Specificațiile driver-ului de motoare dual VNH2SP30

Specificație	Valoare
Tensiune maximă de alimentare	16V
Tensiune minimă alimentare	5.5V
Curent maxim/canal	14A
Curent maxim/canal pe spike	30A

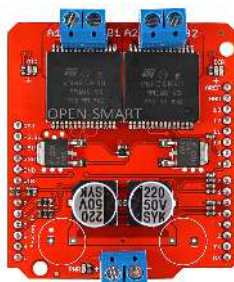


Figura 9: Driver de motoare dual VNH2SP30²

3.2 Motor de acționare lamă de tăiat



Figura 10: Motor fără perii HobbyKing Donkey ST3511-810kv și circuitul electronic de control³

Lama de tăiat este acționată de către un motor de curent continuu fără perii. Viteza și direcția motorului este controlată de către un circuit electronic de control (ESC). Atât motorul, cât

¹<https://grabcad.com/library/pololu-dc-motor-37dx52l-mm-mounted-on-bracket-1>, accesat la data de 15.03.2018

²<https://www.geekbuying.com/item/30A-High-Current-Dual-Motor-Driver-Shield-Module-Full-bridge-Dri>html, accesat la data de 16.03.2018

³https://hobbyking.com/en_us/hobbyking-donkey-st3511-810kv-brushless-power-system-combo.html, accesat la data de 20.03.2018

și circuitul electronic de control al acestuia sunt prezente în Figura 10.

Specificațiile motorului fără perii sunt afișate în Tabela 5.

Tabela 5: Specificații motor fără perii

Specificație	Valoare
RPM/v	810 kv
Tensiune	6 V - 18 V (2 - 4 s lipo)
Curent (fără sarcină)	2 A
Curent maxim	35 A
Putere maximă	360 W
Greutate	170 g

Lama realizată care se prinde de axul motorului de curent continuu fără perii, împreună cu sistemul de prindere pot fi observate în Figura 11.



Figura 11: Lama de tăiat iarba și sistemul de prindere

3.3 Alimentare robot

Alimentarea robotului este realizată cu ajutorul a două baterii Li-Po nano-tech Turnigy cu 3 celule (11.1 V), prezente în Figura 12. Pentru a gestiona mai bine energia, o baterie alimentează placa de dezvoltare și motoarele ce acționează roțile printr-o conexiune în paralel, iar cealaltă baterie alimentează motorul ce acționează lama, după cum se poate observa în



Figura 12: Baterie Li-Po Nano-tech Turnigy cu 3 celule⁴

Figura 13.

Selecția bateriilor a fost realizată sub anumite constrângeri: oferirea unei autonomii pentru un număr de ore de activitate, greutatea să fie cât mai mică pentru a permite menținerea greutății totale a robotului în plaja 5-6 kg în forma finală, dimensiunile să permită integrarea acestora fără probleme în spațiul de pe robot destinat poziționării tuturor componentelor. Specificațiile bateriilor sunt enumerate în Tabela 6.

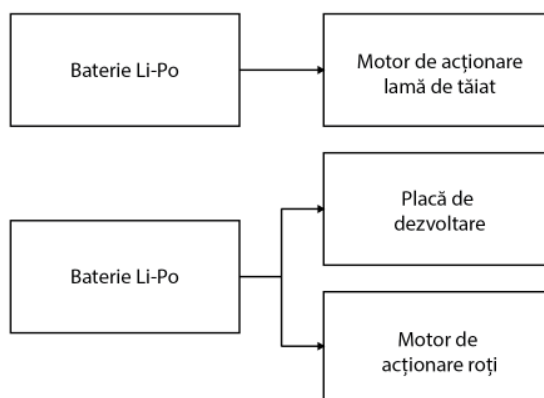


Figura 13: Diagramă alimentare

3.4 Placa de dezvoltare

Placa de dezvoltare utilizată ca parte computațională este Arduino Mega 2560, un microcontroller bazat pe ATmega2560. Placa dispune de 54 de intrări/ieșiri digitale (dintre care 15 pot fi utilizate ca ieșiri PWM), 16 intrări analogice, 4 UART-uri (porturi seriale hardware), memorie flash de 256KB și funcționează la o frecvență de 16 MHz.

⁴https://hobbyking.com/en_us/turnigy-nano-tech-5000mah-3s-30c-lipoly-battery-w-traxxas-connector.html, accesat la data de 20.03.2018

Tabela 6: Specificații baterii Li-Po

Specificație	Valoare
Capacitate	5000 mAh
Rată de descărcare	30 C
Rată maximă de încărcare	8 C
Lungime	135 mm
Lățime	29 mm
Greutate	357 g

De asemenea, Arduino Mega dispune și de 5 cronometre:

- Cronometrul 0 controlează pinul 13 și 4;
- Cronometrul 1 controlează pinul 12 și 11;
- Cronometrul 2 controlează pinul 10 și 9;
- Cronometrul 3 controlează pinul 5, 3 și 2;
- Cronometrul 4 controlează pinul 8, 7 și 6;



Figura 14: Placa de dezvoltare Arduino Mega⁵

3.5 Proiectare carcasă

Baza robotului este realizată dintr-un material necasant de 10 mm grosime, iar schița vectorială este prezentată în Figura 15. Materialul este perforat pentru a permite prinderea roților

⁵<http://tienda.bricogeek.com/arduino/306-arduino-mega-2560-0764015211008.html>, accesat la data de 25.03.2018

conducătoare și a celor ajutătoare, dar și a motorului fără perii, în partea centrală. Prinderea acestor componente este realizată prin intermediul șuruburilor și a piulițelor.

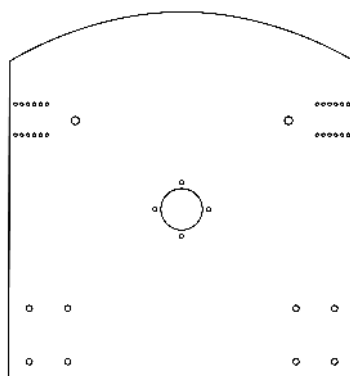


Figura 15: Schiță vectorială a bazei robotului

Carcasa robotului este realizată dintr-un material de 3 mm grosime, prevăzut cu un strat de metal, iar schița vectorială este prezentată în Figura 16. Materialul este perforat pentru a permite plasarea în exterior a senzorilor de distanță, a butoanelor de pornire/oprire și a antenei GPS.

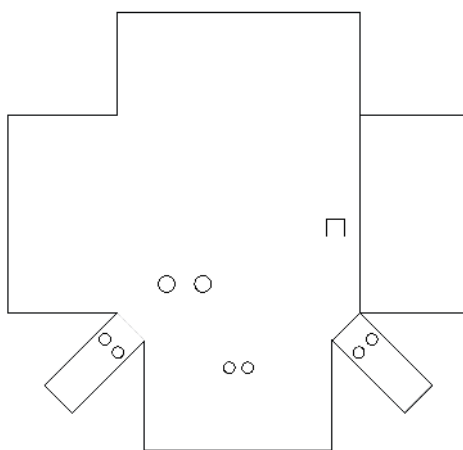


Figura 16: Schiță vectorială a carcasei robotului

Carcasa robotului este detașabilă și se prinde de baza acestuia prin intermediul a șase șuruburi. O formă finală a robotului de tuns iarba este prezentată în Figura 17.



Figura 17: Robotul în forma finală

4 EVITAREA OBSTACOLELOR

4.1 Principiul de funcționare

Una dintre cerințele îndeplinite de robotul de tuns iarba realizat este evitarea obstacolelor care apar pe traiectoria de mers. Pentru a îndeplini această cerință, la nivel hardware, robotul este dotat cu trei senzori de distanță ultrasonici ilustrați în Figura 18. Poziționarea acestora în cadrul robotului este realizată în partea frontală, acoperind trei zone de vizibilitate: partea stângă, partea dreaptă și partea corespunzătoare direcției de mers.



Figura 18: Senzor ultrasonic HC-SR04¹

Tabela 7: Specificații senzor ultrasonic HC-SR04

Specificație	Valoare
Tensiune de alimentare	5 V
Curentul de funcționare	15 mA
Frecvența	40 Hz
Distanță maximă	4 m
Distanță minimă	2 cm
Unghi de măsurare	15°

În momentul în care robotul detectează un obstacol care se află la o distanță mai mică sau egală decât distanța de coliziune setată la nivel software și este în aria de vizibilitate a unuia dintre cei trei senzori, se activează procesul de schimbare a direcției. Pentru a schimba direcția, robotul efectuează o serie de pași ilustrați în Figura 19. Începe prin a merge înapoi pentru

¹<http://myanmarfuturescience.org/product/ultrasonic-sensor/>, accesat la data de 02.04.2018

a oferi mai mult spațiu de manevră, evitând astfel o posibilă coliziune în timpul efectuării următorilor pași. În continuare, robotul stă în repaus pentru câteva milisecunde pentru a decide în ce sens se va roti pentru a schimba direcția. Decizia este luată în funcție de datele citite de la senzorii poziționați în partea stângă și în partea dreaptă. De exemplu, dacă senzorul din partea dreaptă detectează un obstacol la 20 de cm și senzorul din partea stângă la 50 de cm, robotul se va roti spre stânga. Apoi, robotul stă în repaus câteva milisecunde, după care merge înainte până la întâlnirea următorului obstacol.

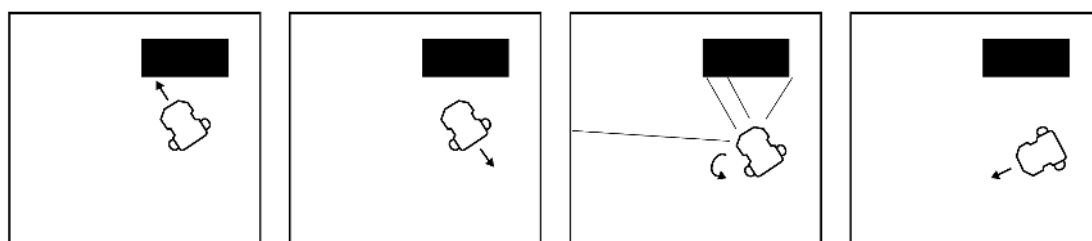


Figura 19: Pașii urmați în procesul de evitare obstacole

Acești pași sunt îndepliniți și în cazul în care robotul este în vecinătatea firului de frontieră și detectează prezența acestuia precum în Figura 20. La nivel software, detectarea prezenței firului de frontieră este interpretată ca un obstacol și se începe același proces de schimbare a direcției cu evitarea coliziunii. Singura diferență în acest caz este faptul că robotul se va roti aleator spre stânga sau dreapta.

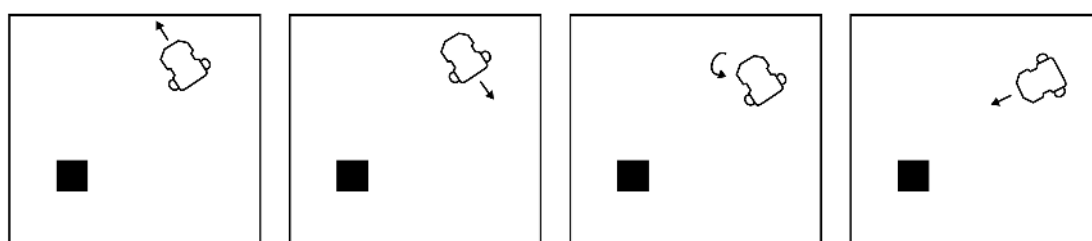


Figura 20: Pașii urmați în procesul de evitare fir de frontieră

5 DELIMITAREA PERIMETRULUI CU FIR DE FRONTIERĂ

Localizarea prin prezența unui fir de frontieră [2] este realizată în sensul de poziționare în interiorul sau în exteriorul perimetrului delimitat. Principiul de bază este instalarea unui fir de frontieră care să delimiteze perimetrul în care robotul își va desfășura activitatea. Robotul nu va depăși acest perimetru, deoarece atunci când se va afla la marginea perimetrului își va schimba traiectoria corespunzător. Utilizarea unui fir de frontieră presupune prezența unui circuit transmițător și a unui circuit receptor.

5.1 Circuit transmițător

Transmițătorul are rolul de a genera un semnal prin firul de frontieră, iar receptorul amplasat pe robot de a detecta semnalul generat prin fir atunci când robotul este aproape de marginea perimetrului delimitat.

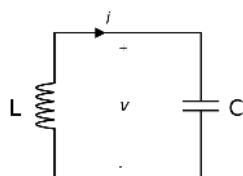


Figura 21: Circuit rezonant¹

În cadrul transmițătorului, se generează un semnal dreptunghiular de o anumită frecvență cu ajutorul unei plăci de dezvoltare Arduino Uno. Driver-ul de motor generează semnalului dreptunghiular spike-uri (vârfuri ascuțite), iar circuitul rezonant LC amplifică aceste spike-uri în cazul în care frecvența de rezonanță f_0 este egală cu frecvența semnalului de intrare. Valorile bobinei și ale condensatorului se aleg astfel încât să existe această egalitate între cele două frecvențe. În continuarea circuitului se assemblează firul de frontieră confecționat din cupru.

¹https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/LC_parallel_simple.svg, accesat la data de 20.04.2018

Frecvența de rezonanță f_0 a unui circuit rezonant (Figura 21) măsurată în Herți este dată de formula următoare:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (18)$$

unde ω_0 reprezintă frecvența unghiulară.

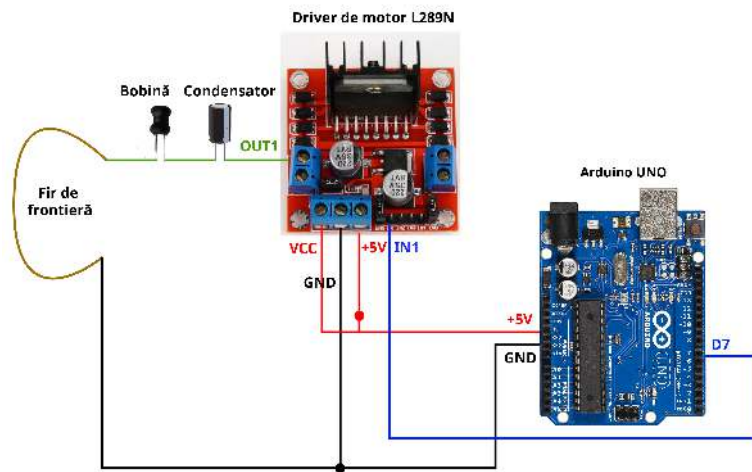


Figura 22: Schemă circuit transmițător

Frecvența semnalului generat prin firul de frontieră a fost aleasă 7800 Hz. Astfel, valorile testate pentru circuitul LC sunt 3.3 uF/50 V pentru condensator, respectiv 120uH pentru bobină. Frecvența de rezonanță pentru acest circuit este de 7998 Hz, având o valoare foarte apropiată de frecvența semnalului de intrare.

Schema circuitului transmițătorului este prezentată în Figura 22.

Circuitul transmițătorului a fost realizat pe o placă de test pentru a avea conexiuni mai sigure (Figura 23).

Forma semnalului, văzută la osciloscop, în anumite puncte ale circuitului se poate observa în Figura 25. De remarcat sunt spike-urile generate de drive-ul de motor (în partea stângă) și efectul circuitului rezonant care produce oscilații (în partea dreaptă). Semnalul generat la ieșirea circuitului LC este semnalul transmis prin firul de cupru de 20 m. Pentru o transmisie cât mai adecvată, este necesar să alegem un fir de cupru de grosime și lungime corespunzătoare. Aceste două caracteristici influențează rezistența firului pe baza formulei următoare:

$$R_{fir} = \frac{\rho * L}{S} \quad (19)$$

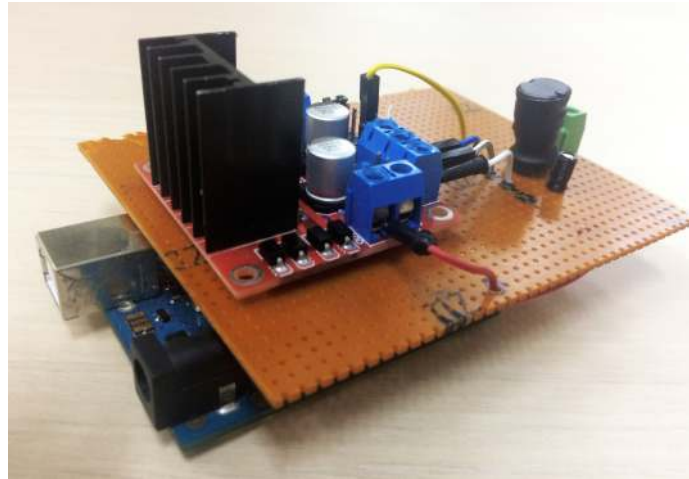


Figura 23: Formă finală circuit transmițător



Figura 24: Carcasă transmițător

Unde ρ reprezintă rezistivitatea firului, L lungimea, iar S suprafața acestuia.

Cu cât firul este mai gros, cu atât rezistența acestuia va fi mai mică și va rezulta un curent ce străbate firul de o intensitate mai mare. Din această cauză firul trebuie să fie cât mai subțire, iar în practică s-a folosit un fir cu diametrul de 0.5 mm, lungime de 20 m și rezistivitate $\rho = 1.68 * 10^{-8}$, specifică cuprului. Rezistența firului se calculează în felul următor:

$$R_{fir} = \frac{\rho * L}{S} = \frac{1.68 * 10^{-8} \Omega m * 20m}{\pi * 0.00025^2 m^2} \approx 1.7 \Omega \quad (20)$$

Intensitatea curentului prin fir, dacă se neglijează celelalte rezistențe, iar tensiunea de alimentare este de 5V este determinată astfel:

$$I = \frac{U}{R_{fir}} = \frac{5V}{1.7 \Omega} \approx 3A \quad (21)$$

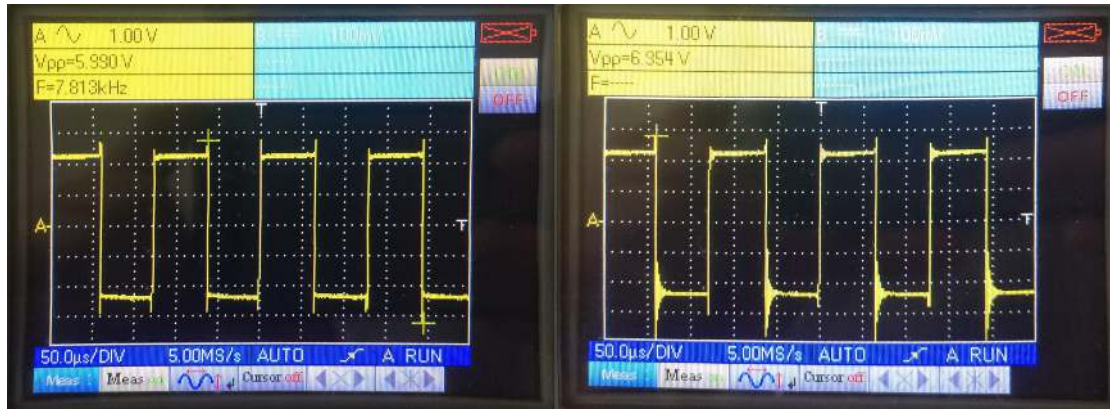


Figura 25: a) Efectul driver-ului de motor asupra semnalului b) Efectul circuitului rezonant asupra semnalului

În cazul unui curent mare, bobina trebuie să aibă un curent de saturație mare, iar bobina selectată are un curent de saturație maxim de 3.1A, ceea ce permite o bună funcționare a circuitului.

Circuitul a fost simulat și în programul LTspice, schema fiind ilustrată în Figura 26.

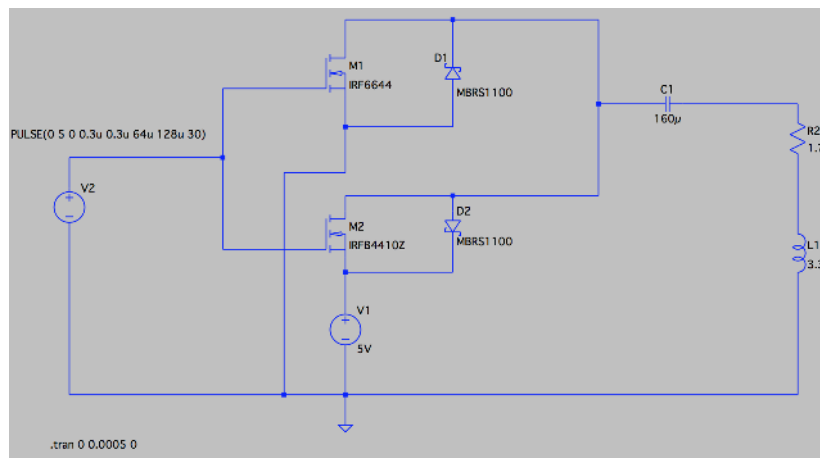


Figura 26: Schemă circuit LTspice

5.2 Circuit receptor

Pentru a recepționa semnalul generat prin firul de frontieră este nevoie de un circuit LC cu aceeași frecvență de rezonanță precum cea a circuitului de la transmisie. În cadrul receptorului, bobina aleasă este de 82 mH, iar condensatorul de 4.7 nF/50 V. Frecvența de rezonanță rezultată este de 8107 Hz, aproximativ egală cu frecvența de rezonanță a circuitului LC de la

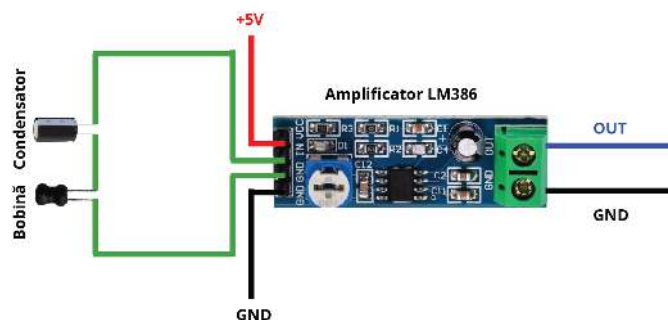


Figura 27: Schemă circuit receptor

transmițător de 7998 Hz. Pentru a detecta semnalul cât mai bine se folosește un amplificator în continuarea circuitului LC, după cum se poate observa în Figura 27. Semnalul OUT de la ieșirea din amplificator este conectat la un pin analogic de pe placa de dezvoltare pentru a citi valorile corespunzătoare amplitudinii semnalului recepționat.

Recepția semnalului generat prin firul de frontieră de lungime 20 m, de la o distanță de 15 cm, respectiv 10 cm este ilustrată în Figura 28, recepție observată la osciloscop.

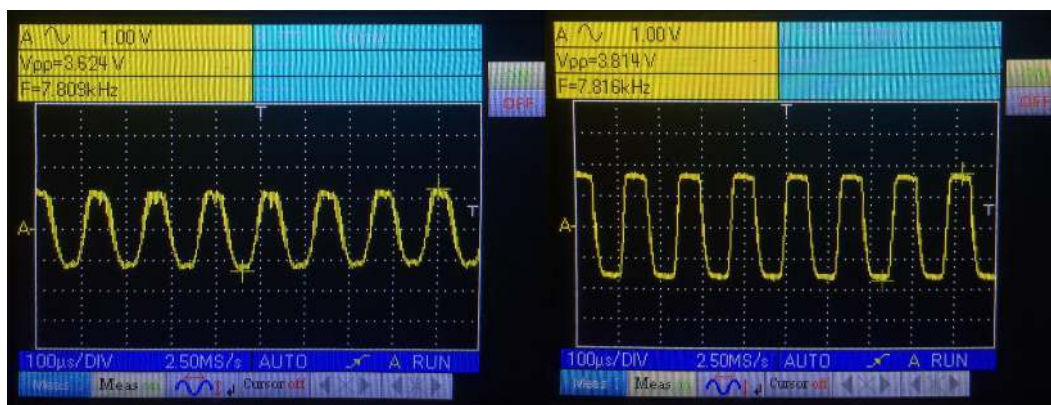


Figura 28: a) Semnalul recepționat de la $d = 15$ cm b) Semnalul recepționat de la $d = 10$ cm

În cadrul testelor realizate asupra circuitelor de transmisie și recepție descrise mai devreme, se observă faptul că semnalul generat prin firul de cupru începe să fie detectat de la o distanță de aproximativ 40 cm, având o amplitudine mică de 2 V. De la această distanță, forma semnalului este identificată drept sinusoidală. Amplitudinea semnalului crește în timp ce distanța dintre receptor și fir scade, ajungând până la 3.6 V (aproape de amplitudinea maximă). La distanța de 15 cm forma semnalului recepționat este tot sinusoidală. Semnalul recepționat are o formă dreptunghiulară atunci când circuitul receptor este la o distanță mai mică sau egală cu 10 cm, iar amplitudinea semnalului este de 3.8 V. Valoarea maximă a amplitudinii fiind de 3.9 V. Un aspect foarte important cu privire la teste realizate, este faptul că bobina de la recepție

este poziționată la 1 cm distanță față de pământ. Doar în această situație semnalul este recepționat conform informațiilor și figurilor prezentate.

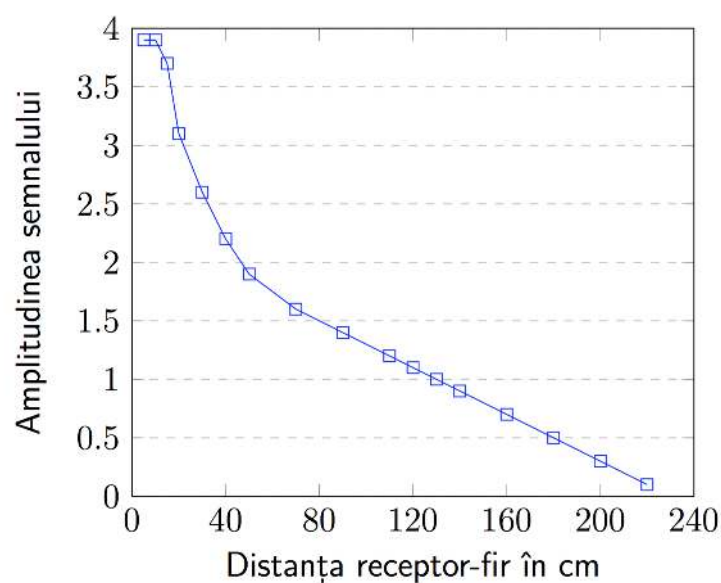


Figura 29: Atenuarea amplitudinii semnalului recepționat în funcție de distanța de recepție

Rezultatele măsurărilor privind amplitudinea semnalului recepționat în funcție de distanța de recepție se pot observa în graficul de mai sus.

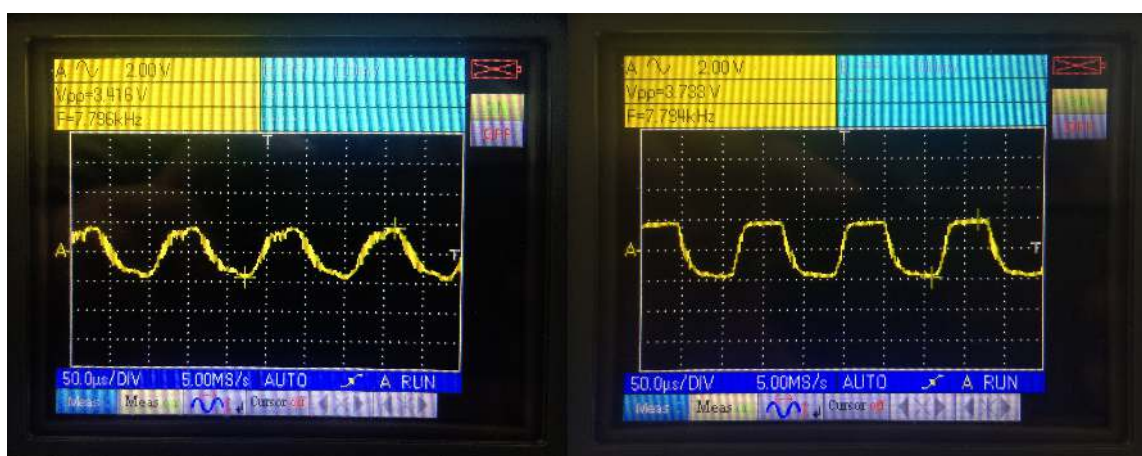


Figura 30: a) Semnalul recepționat de la $d = 15$ cm b) Semnalul recepționat de la $d = 10$ cm

A fost realizată și o măsurătoare în care s-a folosit același fir de cupru, dar având lungimea de 40 m. Semnalul recepționat de la o distanță de 15 cm, respectiv 10 cm este ilustrat în Figura 30, recepție observată la osciloscop.

Atunci când receptorul este poziționat la o distanță de 15 cm de firul de frontieră, amplitudinea

semnalului recepționat este 3.4 V, iar pentru o distanță de 10 cm, amplitudinea semnalului este 3.7 V. Rezultatele pentru un fir lung de 20 m, respectiv 40 m, la o recepție realizată la distanța de 15 cm și 10 cm, diferă foarte puțin. Această diferență se poate datora și faptului că măsurătorile au fost efectuate în puncte diferite ale firului de frontieră în cele două cazuri.

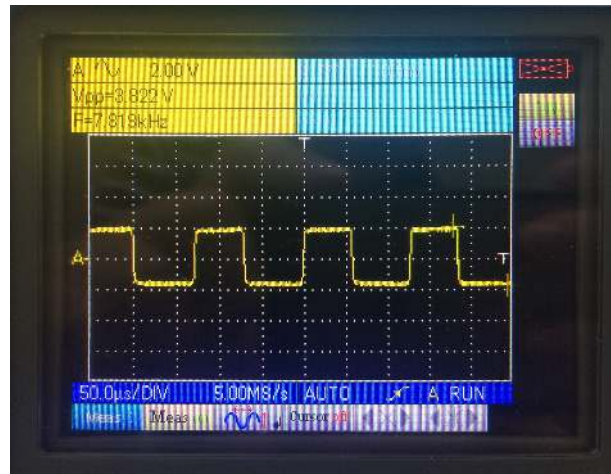


Figura 31: Semnalul recepționat la $d = 5$ cm, având amplitudine maximă

Comparând amplitudinea maximă a semnalului, în cazul unui fir de lungimea de 20 m, aceasta are valoarea de 3.9 V, iar în cazul unui fir de lungimea de 40 m, aceasta are valoarea 3.82 V, recepționată la o distanță de 5 cm (Figura 31). Pe baza măsurătorilor, putem estima o diferență de 0.08 V în amplitudinea maximă semnalului, diferență relativ mică în condițiile în care lungimea semnalului a fost dublată.

6 GPS DIFERENȚIAL (DGPS)

În acest capitol sunt prezentate principiile de funcționare ale modului GPS, împreună cu descrierea protocoalelor de transmisie utilizate, dar și a erorilor generate de acest modul, motiv care determină importanța implementării unui sistem de corecție a erorilor generate - GPS Diferențial. În cadrul descrierii sistemului de GPS Diferențial sunt prezentate două modalități de a calcula corecția erorilor și sunt oferite detalii de implementare a sistemului în cadrul robotului de tuns iarba.

6.1 Sistemul global de poziționare (GPS)

Sistemul global de poziționare (GPS) oferă utilizatorilor servicii de poziționare, navigare și sincronizare. Acest sistem este format din trei segmente ilustrate și în Figura 32:

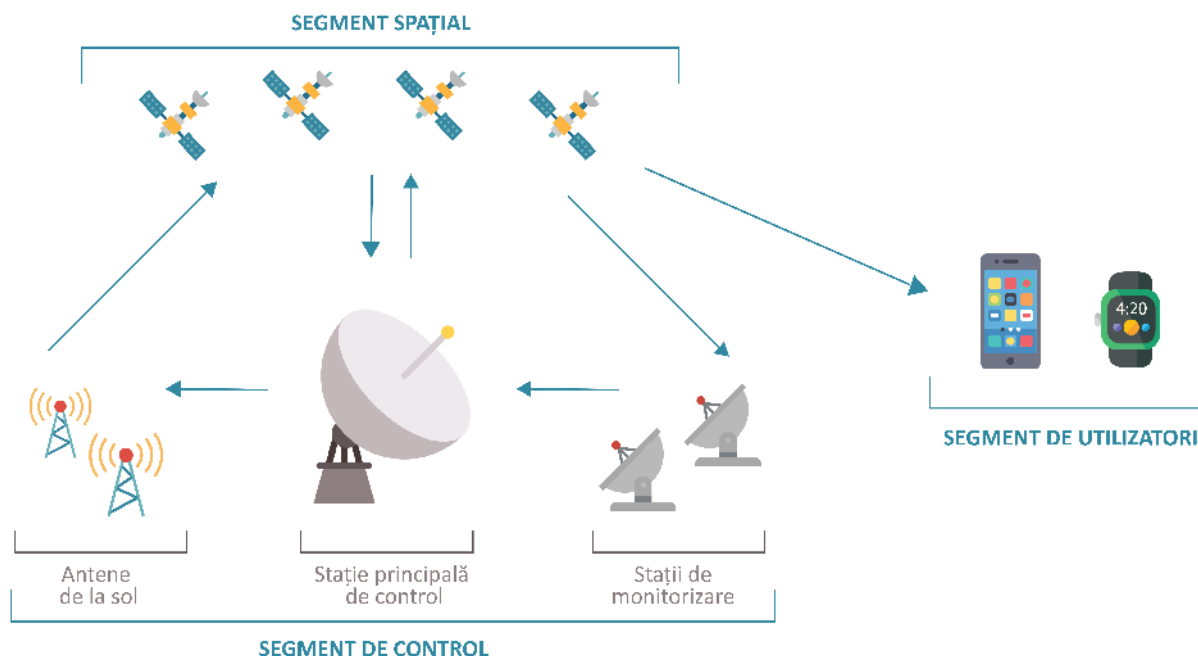


Figura 32: Cele trei segmente ale GPS-ului

- Segmentul spațial [10] este alcătuit din sateliți care înconjoară Pământul la o altitudine

de aproximativ 20000 km. Din 2016 există 32 de sateliți, dintre care 31 sunt în uz. Perioada orbitală este de aproximativ 12 ore, iar sateliții urmează aproape același traseu în fiecare zi, astfel încât minim șase sateliți sunt întotdeauna vizibili de oriunde pe Glob, datorită poziționării orbitelor.

- Segmentul de control este cuprins din mai multe stații, printre care o stație de control principală, o stație de control care alternează, patru antene dedicate la sol și șase stații de monitorizare dedicate prezente și în Figura 33.

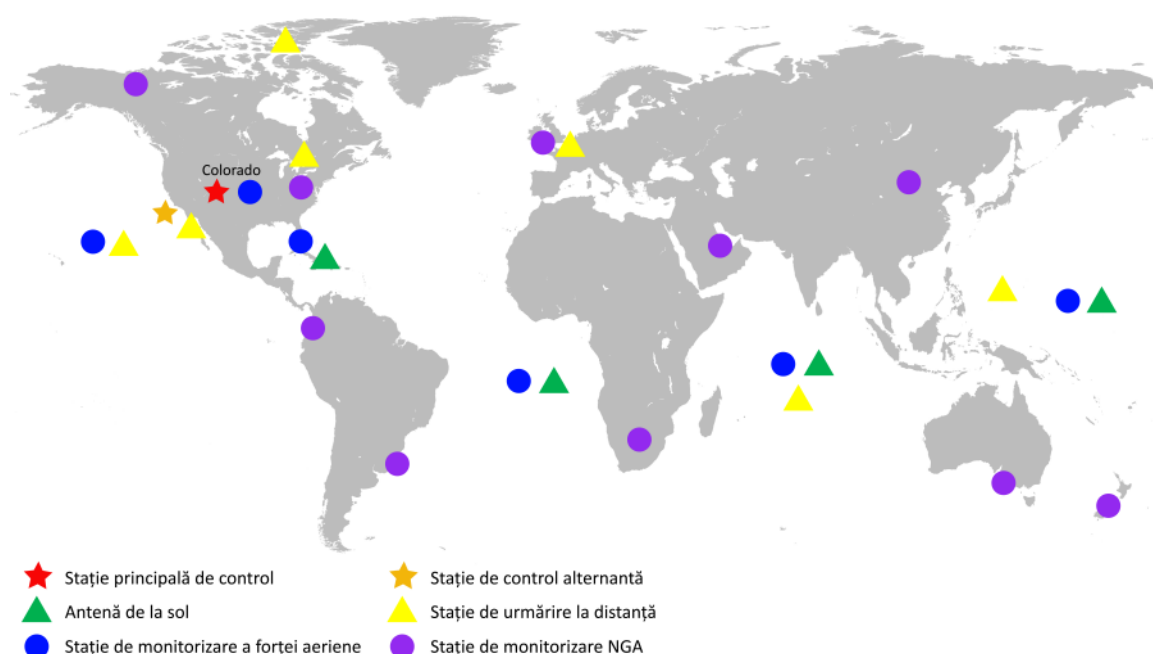


Figura 33: Stațiile segmentului de control¹

- Segmentul utilizatori este constituit din totalitatea receptoarelor GPS.

Cei mai recenti sateliți transmit pe două benzi de frecvență L1 (1575.42MHz) și L2 (1227.6MHz). Semnalele purtătoare sunt modulate prin BPSK (modulație în fază a semnalului binar).

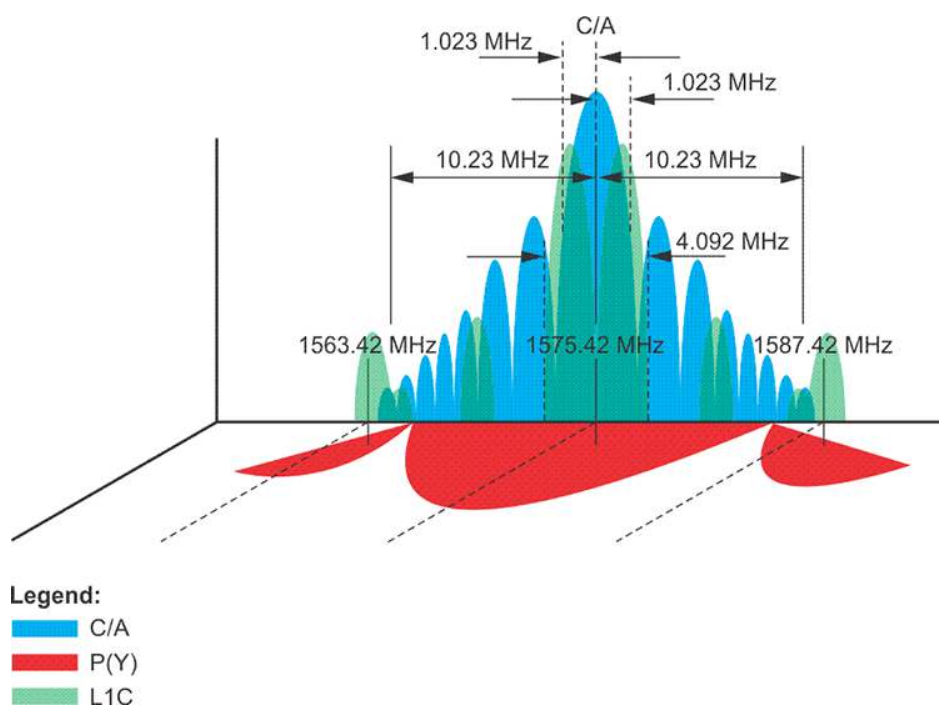
După cum se poate observa în Tabela 8, codul C/A este transmis pe banda de frecvență L1 ca un semnal de frecvență 1.023 MHz, iar codul P(Y) este transmis pe ambele benzi de frecvență L1 și L2 ca un semnal de frecvență 10.23 MHz. Banda de frecvență L1 este destinată uzului civil, de aceea majoritatea receptoarelor cu cost redus transmit pe această bandă. Banda L1 conține două semnale C/A și P(Y), vizibile în Figura 34. Codul C/A modulează purtătoarea L1, pe când codul P modulează fazele ambelor purtătoare.

¹ <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>, accesat la data de 11.05.2018

Tabela 8: Benzile de frecvență

Bandă	Semnal cod	Disponibilitate	Frecvență semnal cod
L1	C/A	Civilă	1.023 MHz
L1/L2	P(Y)	Cu autorizație	10.23 MHz
L2	L2CM	Civilă	511.5 kHz
L2	L2CL	Civilă	511.5 kHz
L1/L2	M	Cu autorizație	5.115 kHz

Satețiții au un identificator unic, numit cod de zgomot pseudoaleator (PRN), care permite să se transmită informații diferite pe aceeași bandă de frecvență. Receptorul GPS cunoaște codul de zgomot pseudoaleator al sateliților și astfel se recepționează semnalul corespunzător. Semnalele de cod P(Y) și C/A sunt tipuri de coduri de zgomot pseudoaleator.

Figura 34: Semnale în banda de frecvență L1²

Satețiții GPS, numiți și Blocuri sunt ilustrați în Figura 35 [7]. Dintre cei 31 de satețiți în uz, se înnumără 13 Blocuri IIA, 12 Blocuri IIR și 6 Blocuri IIR-M.

² <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1753>, accesat la data de 13.05.2018

³ <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4745647>, accesat la data de 13.05.2018

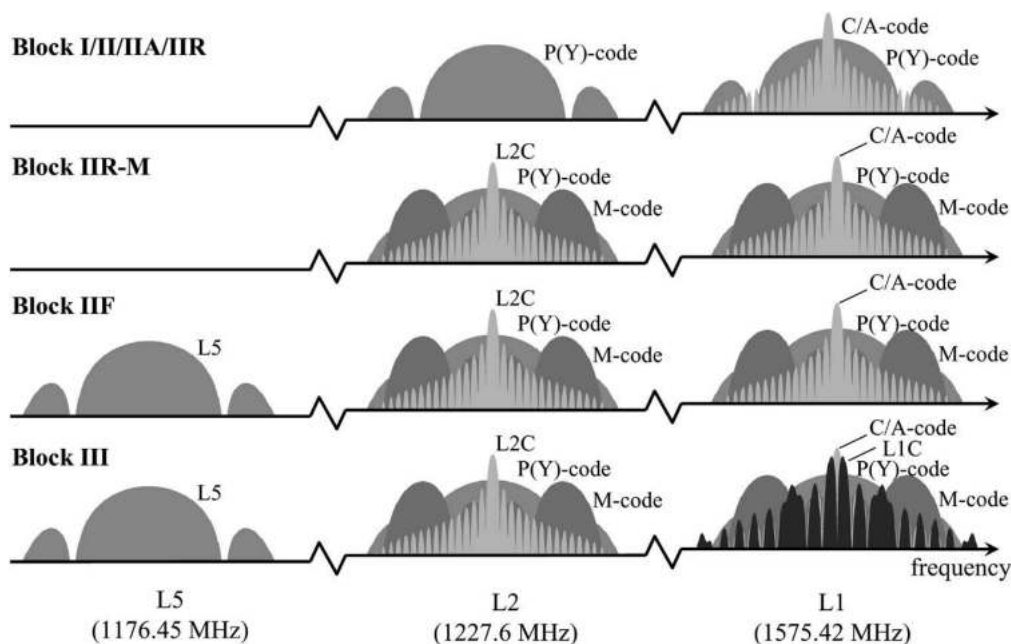


Figura 35: Evoluția sateliților GPS [7]³

6.2 Protocoale de transmisie GPS

Protocolul NMEA (Asociația Națională de Electronică Marină) expune informațiile primite de la GPS în formatul ASCII care poate fi interpretat de către oameni.

```

10:55:56 $GPGLL,4426.70915,N,02603.31131,E,105556.00,A,D*66
10:55:57 $GPRMC,105557.00,A,4426.70914,N,02603.31141,E,0.018,,020618,,D*7C
10:55:57 $GPVTG,T,M,0.018,N,0.033,K,D*2F
10:55:57 $GPGGA,105557.00,4426.70914,N,02603.31141,E,2,09,0.96,83.8,M,34.8,M,,0000*68
10:55:57 $GPGSA,A,3,02,06,12,25,29,40,24,31,32,,,1.90,0.96,1.64*0C
10:55:57 $GPGSV,3,1,12,02,50,079,47,05,01,120,17,06,19,042,41,12,59,084,51*79
10:55:57 $GPGSV,3,2,12,14,17,293,24,24,25,169,33,25,68,319,29,29,47,244,31*78
10:55:57 $GPGSV,3,3,12,31,22,315,27,32,14,265,15,33,24,232,,40,31,142,38*74
10:55:57 $GPGLL,4426.70914,N,02603.31141,E,105557.00,A,D*61

```

Figura 36: Exemplu de cadre NMEA0183 citite de la GPS prin programul U-center

După cum se poate observa în Figura 36, începutul fiecărui cadru NMEA este identificat prin caracterul "\$", urmat de o secvență care identifică sistemul de navigare. În cazul nostru, "GP" identifică sistemul de navigare GPS, dar poate apărea și "GL" care identifică sistemul de navigare GLONASS. În continuare, cele 3 caractere cu majusculă definesc conținutul mesajului și aceste caractere pot fi:

- RMC – conține informații precum latitudine, longitudine, viteză, curs.
- GGA – conține informații precum poziție, elevație, oră, numărul de sateliți utilizați, tipul de remediare și vârsta de corecție.

- GSA – conține informații detaliate despre sateliți.
- GLL - conține informații precum latitudine și longitudine, timpul de fixare a poziției și statusul.
- GSV - conține informații despre fiecare satelit vizibil, precum elevație, azimut, numărul de identificare al satelitului.
- GBS - conține informații despre posibile erori în latitudine, longitudine, altitudine.
- GRS - conține informații despre reziduuri.
- GST - conține informații despre deviațiile standard.

Datele utile sunt separate prin virgulă, iar sfârșitul acestora este delimitat de caracterul "*". Ultimele două caractere sunt reprezentate de suma de control care are rolul de a identifica dacă transmisia a fost realizată corect. Protocolul UBX [1] prezintă cadre în format binar. Începutul fiecărui cadru este marcat de un cod pe 2 bytes în Hexazecimal (0xB5 0x62), iar apoi urmează un cod de 1 byte care identifică clasa mesajului și 1 byte pentru ID-ul clasei. Lungimea datelor utile este dată de următorii 2 bytes în reprezentare Little Endian, iar după secvența de date utile, mesajul se termină prin cei 2 bytes alocați pentru suma de control.

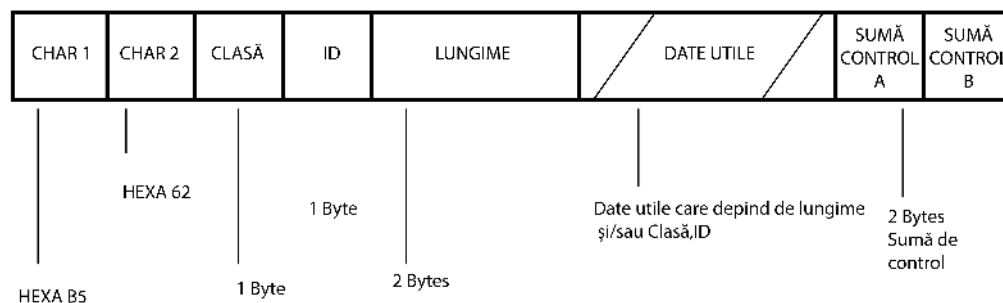


Figura 37: Formatul cadrelor UBX [1]

```

10:55:57 0000 B5 62 01 02 1C 00 60 09 4D 21 EE AF 87 0F DC C8 0b....`..M!î~..ÜË
0010 7D 1A 3B CB 01 00 19 43 01 00 F7 04 00 00 A1 03 }.;Ë...C...÷...i.
0020 00 00 67 A9 ..g@.

10:55:57 0000 B5 62 01 03 10 00 C4 09 4D 21 03 DF 00 00 49 04 0b....Ä.M!..B...I.
0010 00 00 10 D8 13 00 79 22 ...ø..y".

```

Figura 38: Exemplu de cadre UBX citite de la GPS prin programul U-center

Protocolul UBX este adesea folosit de către receptoarele GPS fabricate de către u-blox.

6.3 Principiul de funcționare GPS

Locația unui punct de pe Pământ poate fi determinată dacă receptorul GPS are cel puțin patru sateliți vizibili. Figura 39 ilustrează trei cazuri:

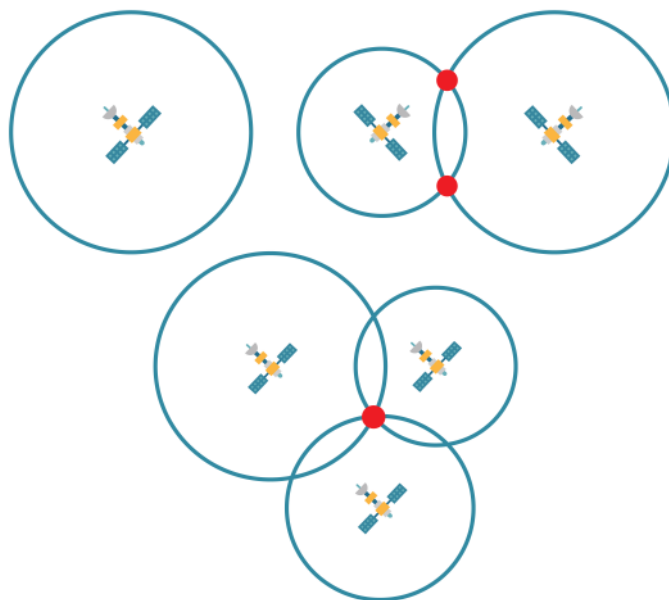


Figura 39: Determinarea poziției unui punct în funcție de numărul de sateliți vizibili

- Când este un singur satelit vizibil, locația receptorului poate fi oriunde în cercul al cărui centru este reprezentat de satelit (în cazul unui plan 3D cercul devine o sferă).
- Când sunt doi sateliți vizibili, locația receptorului poate fi reprezentată de cele două puncte care marchează intersecția celor două cercuri.
- Când sunt trei sateliți vizibili, locația receptorului poate fi reprezentată de un singur punct care marchează intersecția celor 3 cercuri. Acest proces este cunoscut și sub numele de trilateratie. Cel de-al patrulea satelit fiind utilizat pentru a minimiza erorile de calcul.

O metodă prin care se poate determina poziția unui punct reprezintă determinarea pseudo-distanței. Pseudo-distanța [9] reprezintă distanța parcursă de un semnal de la satelit la receptor, la care se adaugă erorile generate de ceas. Atunci când codul de zgomot pseudoaleator (PRN), unic pentru fiecare satelit, ajunge la receptor, se poate calcula intervalul de timp Δt de la emisie până la recepție (ToA). Timpul de emisie t_s (al satelitului) este transmis prin

PRN, iar timpul de recepție t_r este timpul receptorului GPS.

$$\Delta t = t_r - t_s \quad (22)$$

Soluția abordată în construcția dispozitivelor de recepție destinate uzului civil pentru a menține ceasul intern, este bazată pe încorporarea unui cristal de cuarț, care de multe ori, este ieftin. Pe de altă parte, sateliții sunt dotați cu ceasuri atomice foarte precise și această diferență de precizie dintre ceasurile de la emisie și recepție generează erorile de ceas. Sistemului global de navigație prin satelit (GNSS) are propriul timp de referință care ajută la sincronizarea celor trei segmente GPS. Atât ceasurile sateliților, cât și ale dispozitivelor de recepție pot să nu fie sincronizate cu timpul de referință al GPS-ului și rezultă astfel erorile sistematice δS (satelit) și δR (receptor).

$$\Delta t = \Delta t(GPS) + \Delta \delta \quad (23)$$

Unde,

$$\Delta \delta = (\delta R - \delta S) \quad (24)$$

Mesajul de navigație transmis de la satelit include și corecția de ceas a acestuia, iar eroarea sistematică generată de satelit este astfel corectată.

$$\Delta \delta = \delta R \quad (25)$$

Viteza de propagare a unei unde radio în spațiu este egală cu viteza luminii, c . Cunoscând intervalul de timp și viteza se poate determina pseudo-distanța D .

$$D = c\Delta t = c\Delta t(GPS) + c\Delta \delta \quad (26)$$

6.4 Erori generate de GPS

După cum am precizat în secțiunea anterioară, sateliții sunt dotați cu ceasuri atomice precise, însă apar probleme de sincronizare între ceasul sateliților și timpul de referință GPS. În mesajul de navigație transmis de la satelit apar date care ajută la efectuarea unei corecții de ceas, precum coeficienții a_0, a_1, a_2 și timpul de ceas t_{oc} . Eroarea de ceas a satelitului [3] este modelată de o ecuație polinomială de ordinul 2:

$$\varepsilon_{sc} = a_0 + a_1 dt + a_2 dt^2 \quad (27)$$

$$dt = t_s - t_{oc} \quad (28)$$

Timpul de referință GPS, T_{GPS} , este egal cu diferența dintre timpul de transmitere al satelitului t_s și eroarea de ceas a satelitului ε_{sc} .

$$T_{GPS} = t_s - \varepsilon_{sc} \quad (29)$$

Pe lângă erorile generate de ceas, mai pot apărea și erori generate de stratul de ionosferă. După cum se poate observa în Figura 40, densitatea electronilor din ionosferă, partea superioară a atmosferei, are un nivel mai scăzut pe timpul nopții față de nivelul atins pe timpul zilei. Când un semnal străbate acest strat, dimensiunea erorii variază datorită diferențelor de densitate a electronilor. Se poate ajunge la o creștere a erorii de până la 100m [9].

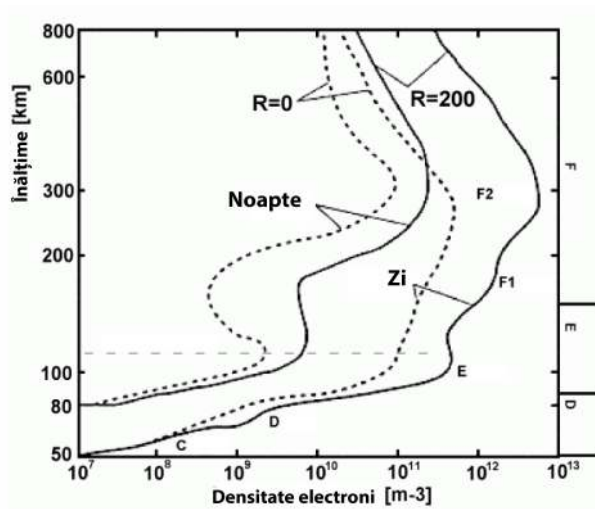


Figura 40: Densitatea electronilor din ionosferă⁴

De asemenea, erorile mai pot fi datorate și stratului de troposferă și sunt generate în momentul în care elevația satelitului (Figura 41) are o valoare mică. Eroarea depinde de condițiile meteo, precum presiune, umiditate, temperatură, iar aceste condiții afectează viteza de propagare a undelor. Întârzierile adăugate semnalului transmis pot fi de două feluri: hidrostatice datorate prezenței gazelor uscate în troposferă și umede datorate vaporilor de apă și de apă condensată sub formă de nori.

⁴ http://roma2.rm.ingv.it/en/research_areas/4/ionosphere, accesat la data de 02.06.2018

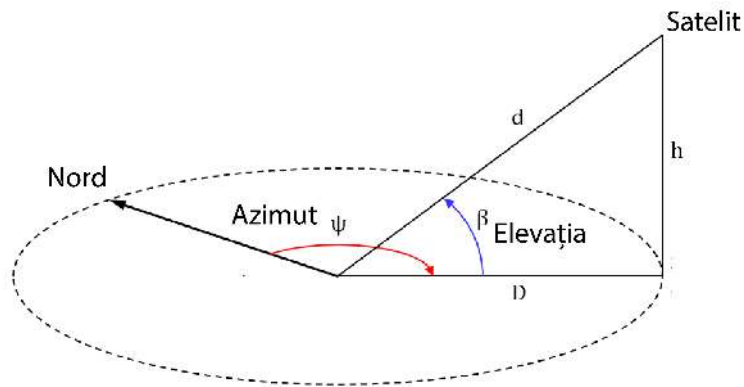


Figura 41: Elevația și azimutul unui satelit⁵

6.5 Principiu de funcționare DGPS

În continuare se va prezenta principiul de funcționare al tehnicii de poziționare în timp real, GPS Diferențial. Acesta presupune prezența a cel puțin două stații. Stația de referință calculează corecțiile pseudo-distanței (PRC) și corecțiile ratei de acoperire (RRC) care sunt transmise către receptorul aflat la distanță, în timp real. Utilizarea acestor corecții îmbunătățește precizia poziționării în raport cu stația de bază.

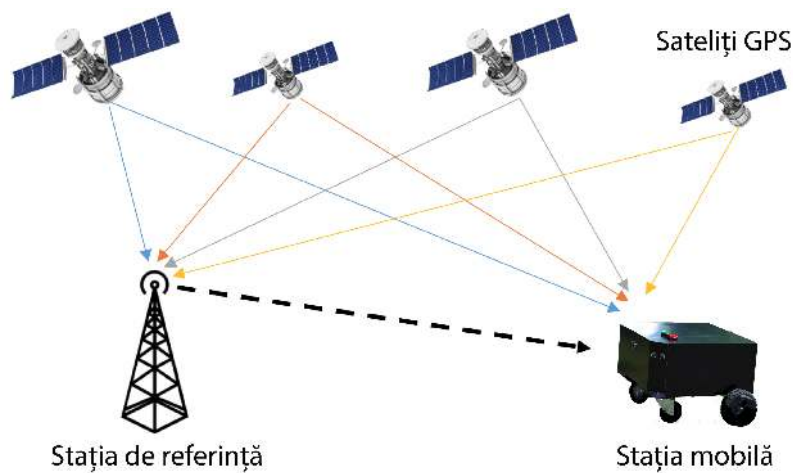


Figura 42: Principiul de funcționare GPS Diferențial [9]

După cum este ilustrat în Figura 42, pentru a realiza GPS Diferențial este nevoie de două stații: o stație fixă, numită stație de referință (SR), și o stație mobilă (M), ambele dotate cu module

⁵ <http://rediscoveries.blogspot.com/2017/05/a-little-bit-of-satellite-geometry.html>, accesat la data de 02.06.2018

GPS. Stația SR are o poziție fixă, cunoscută, iar pe baza poziției măsurate în acel punct se poate calcula corecția, urmând ca aceasta să fie transmisă și către M. Poziția cunoscută a SR-ului rezultă în urma unor măsurători efectuate pe o perioadă de timp îndelungată, de preferat minim 24 de ore. În acest timp în care SR captează date despre poziția sa, au loc schimbările în stratul de ionosferă și troposferă descrise în capitolul Erori generate de GPS. Aceste erori produc o variație asupra poziției. Precizia poziției fixe a stației SR crește cu cât variația poziției pe timpul măsurătorii este mai mare. Desigur, pentru această procedură să se poată realiza, trebuie să existe cel puțin 4 sateliți vizibili pentru fiecare stație.

Această metodă este larg utilizată pentru a localiza cu precizie sisteme precum drone și mașini de tuns iarba.

6.6 GPS Diferențial bazat pe un domeniu de poziții

O modalitate simplă [9] prin care se poate determina o corecție a poziției stației M este prin calcularea diferenței dintre poziția cunoscută și cea măsurată a stației SR. Adăugând această diferență la poziția stației M, erorile generate de GPS se vor diminua.

Stația SR își calculează poziția primită de la GPS conform ecuației următoare [4]:

$$\vec{X}_{SR,GPS} = (H^T H)^{-1} H^T \vec{\rho}_{SR} \quad (30)$$

Unde H este matricea de observare GPS, iar $\vec{\rho}_{SR}$ este pseudo-distanța determinată pentru stația SR.

Poziția fixă a stației SR este notată cu $\vec{X}_{SR,fix}$, iar poziția măsurată, primită de la modulul GPS, este notată cu $\vec{X}_{SR,GPS}$. Stația SR compară mereu aceste două poziții și determină corecția, $\vec{\delta}_X$, aplicând următoarea formulă:

$$\vec{\delta}_X = \vec{X}_{SR,fix} - \vec{X}_{SR,GPS} \quad (31)$$

Stația SR transmite corecția $\vec{\delta}_X$ către stația M. Pentru a atenua eroarea generată de GPS se adună corecția la poziția stației M, $\vec{X}_{M,GPS}$.

$$\vec{X}_{M,DGPS} = \vec{X}_{M,GPS} + \vec{\delta}_X \quad (32)$$

Dezavantajul acestei soluții este faptul că sunt generate corecții valide doar în cazul în care atât stația de referință, cât și stația mobilă au aceeași sateliți vizibili. În cazul în care stațiile

au sateliți diferiți în aria de vizibilitate, corecția calculată prin această metodă poate duce la erori mult mai mari decât cele necorectate, generate de către GPS.

6.7 GPS Diferențial bazat pe un domeniu cu intervale de variații

Pseudo-distanța determinată de GPS, are următoarea formă:

$$D = c\Delta t = c\Delta t(GPS) + c\Delta\delta \quad (33)$$

Pseudo-distanța D [8] descrisă prin cele trei coordonate x, y, z , pentru satelitul i este determinată de următoarea ecuație:

$$D(x, y, z)^i = c\Delta t^i(GPS) + c\Delta\delta = \rho^i + \Delta\rho_r^i + \Delta\rho^i + \Delta\rho_r \quad (34)$$

Unde ρ^i [6] este egal cu:

$$\rho^i = \sqrt{(X^i - x)^2 + (Y^i - y)^2 + (Z^i - z)^2} \quad (35)$$

- X^i, Y^i, Z^i sunt coordonatele ECEF ale satelitului i
- x, y, z sunt coordonatele ECEF ale poziției de calculat
- ρ^i este distanța dintre receptor și satelitul i
- $\Delta\rho_r^i$ este o eroare sistematică dependentă de poziția satelitului i (efemeride, efectele datorate refracției în ionosferă și troposferă)
- $\Delta\rho^i$ este o eroare de ceas a satelitului i echivalentă cu $-c\Delta\delta_S$
- $\Delta\rho_r$ este o eroare sistematică a ceasului receptorului plus alte erori suplimentare echivalentă cu $c\Delta\delta_r + M$

Pseudo-distanța D a stației SR în momentul t_0 este descrisă de ecuația:

$$D_{SR}^i(t_0) = \rho_{SR}^i(t_0) + \Delta\rho_{SR}^i(t_0) + \Delta\rho^i(t_0) + \Delta\rho_{SR}(t_0) \quad (36)$$

Corecția pseudo-distanței (PRC) [8] a satelitului i este adăugată la pseudo-distanța măsurată:

$$PRC_{SR}^i(t_0) = \rho_{SR}^i(t_0) - D_{SR}^i(t_0) = -\Delta\rho_{SR}^i(t_0) - \Delta\rho^i(t_0) - \Delta\rho_{SR}(t_0) \quad (37)$$

$$PRC_{SR}^i(t) = PRC_{SR}^i(t_0) + RRC_{SR}^i(t_0)(t - t_0) \quad (38)$$

Unde RRC este utilizat pentru a estima corecția pseudo-distanței (PRC) la momentul t . PRC-ul este transmis către stația M în timp real.

Stația M își estimează pseudo-distanța în același mod precum stația SR:

$$D_M^i(t_0) = \rho_M^i(t_0) + \Delta\rho_M^i(t_0) + \Delta\rho^i(t_0) + \Delta\rho_M(t_0) \quad (39)$$

PRC-ul determinat de stația SR este adăugat la distanța stației M, pentru a se calcula poziția corectată:

$$D_M^i(t)_{corectat} = D_M^i(t) + PRC_{SR}^i(t) \quad (40)$$

$$D_M^i(t)_{corectat} = \rho_M^i(t) + \Delta\rho_M^i(t) + \Delta\rho^i(t) + \Delta\rho_M(t) + (-\Delta\rho_{SR}^i(t) - \Delta\rho^i(t) - \Delta\rho_{SR}(t)) \quad (41)$$

$$D_M^i(t)_{corectat} = \rho_M^i(t) + (\Delta\rho_M^i(t) - \Delta\rho_{SR}^i(t)) + (\Delta\rho_M(t) - \Delta\rho_{SR}(t)) \quad (42)$$

Pentru distanțe moderate între stația SR și stația M, $\Delta\rho_M(t)$ și $\Delta\rho_{SR}(t)$ sunt corelate. Neglijând aceste erori sistematice, rezultă ecuația:

$$D_M^i(t)_{corectat} = \rho_M^i(t) + (\Delta\rho_M^i(t) - \Delta\rho_{SR}^i(t)) = \rho_M^i(t) + \Delta\rho_{r,SR}^i(t) \quad (43)$$

6.8 Erori generate de GPS Diferențial

Tabela 9: Diferența dintre erorile generate de GPS și GPS Diferențial [5]

	GPS Semnal de cod C/A(m)	DGPS Semnal de cod C/A(m)
Erori de ceas ale satelitului	1-3	0
Erori generate de efemeride	2.5-7	0-0.1
Erori generate de ionosferă	2-15	0.1-1.5
Erori generate de troposferă	0.4-2	0.1-1.5
Interval eroare rezultată	4-18	2-6
Eroare pe orizontală	6-27	3-9
Eroare pe verticală	10-45	5-15

O analiză [5] între erorile generate de GPS și GPS Diferențial este prezentată în Tabela 9. Rezultatele evidențiază o înjumătățire a erorilor generate de ceas, ionosferă și troposferă în cazul folosirii unui sistem GPS Diferențial.

6.9 Implementare sistem GPS Diferențial

Sistemul GPS Diferențial implementat (Figura 43) este alcătuit din două stații, o stație fixă, de referință (SR) și o stație mobilă amplasată pe robotul de tuns iarba.

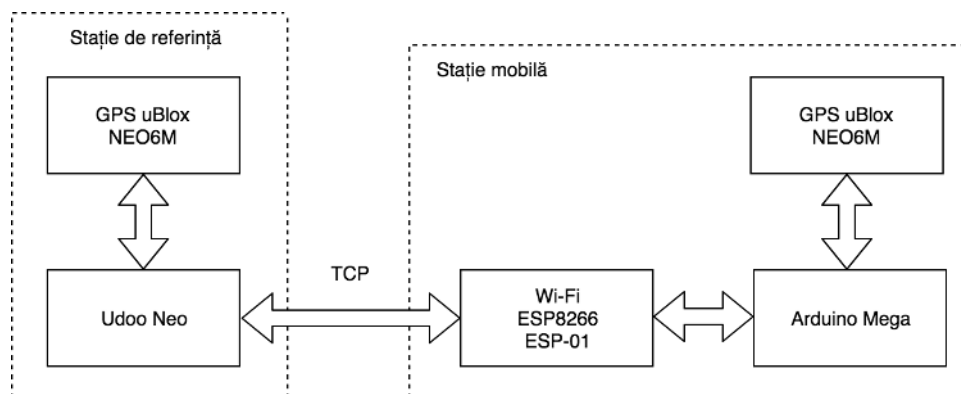


Figura 43: Schema bloc a sistemului GPS Diferențial

Stația SR dispune de o placă de dezvoltare Udoo Neo pentru partea computațională și pentru conectivitate, el fiind în același timp și Punct de Acces (AP) și de un modul de GPS uBlox Neo6M pentru a putea determina poziția cunoscută și cea măsurată. Stația SR este amplasată la sol într-un loc fix și are rolul de a calcula corecția pentru un anumit moment de timp. Corecția ajută la reducerea erorilor pozițiilor stației M.

Stația M este implementată folosind o placă de dezvoltare Arduino Mega. Poziționarea se realizează prin intermediul receptorului GPS uBlox Neo6M, datele fiind prelucrate și transmise la stația SR cu ajutorul unui modul Wifi ESP8266 ESP-01.

Comunicația între cele două stații se realizează prin Wi-Fi. Stația M are la bază un modul Wi-Fi ESP8266 ESP-01 care are un cost redus, iar stația SR dispune de modul Wi-fi încorporat în placa Udoo Neo. Modulul Wi-Fi de pe stația SR este configurat în modul Punct de Acces, iar modulul de pe stația M este configurat în modul Client.

Proiectul își propune determinarea corecției aplicând metoda bazată pe domeniul de poziții, prezentată în secțiunea 6.6. Această metodă pornește de la presupunerea că cele două stații au aceiași sateliți în aria de vizibilitate. Procesul de determinare a poziției fixe a stației SR constă în realizarea unei măsurători de 24 de ore în care se înregistrează datele recepționate de la modulul GPS (latitudine, longitudine, altitudine), timp în care în au loc schimbările în

stratul de ionosferă și troposferă descrise în secțiunea "Erori generate de GPS".

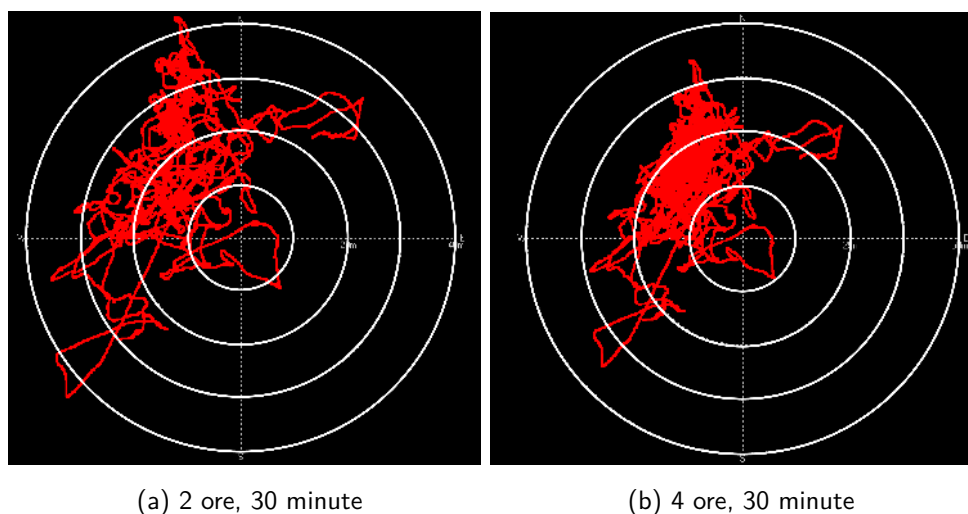


Figura 44: Deviația poziției pe o rază de 50 m într-un interval de timp din programul U-center

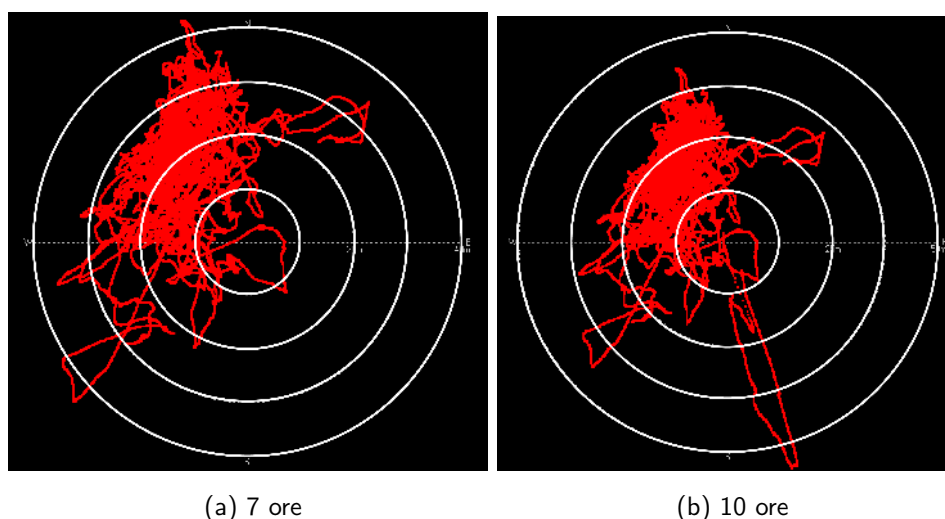


Figura 45: Deviația poziției pe o rază de 50 m într-un interval de timp din programul U-center

De exemplu, pentru o măsurătoare de 12 ore care a început la ora 15:00 și s-a terminat la ora 3:00, în care s-au recepționat date atât pe timp de zi, cât și pe timp de noapte, iar condițiile meteorologice au variat de la condiții normale (cer senin cu soare), la condiții grele (cer înnorat și averse), s-au observat variațiile pozițiilor recepționate prin intermediul programului U-center (Figurile 44, 45). Antena modului GPS a fost poziționată astfel încât să nu fie obstrucționată vizibilitatea către sateliți. Modulul GPS a fost conectat la portul USB al calculatorului prin intermediul unui circuit convertor Serială - Micro USB și a unui cablu Micro USB - USB.

mai largă de timpi de sosire. De asemenea, este folositor și în cazul în care procesarea nu se face pe același timp de sosire, acesta fiind un caz des împlinit în practică.

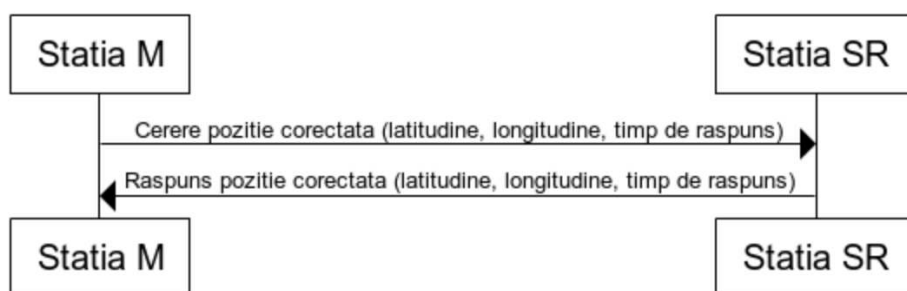


Figura 47: Diagramă de secvență ce ilustrează procesul de cerere a corecției din partea stației mobile

Procesul de obținere al corecției a fost implementat printr-un mecanism de tipul RPC (Apelarea unei proceduri la distanță). Stația SR este configurată ca un server, iar stația M este configurată ca un client, aceste două stații comunicând prin protocolul HTTP. Stația M inițiază o cerere de tipul HTTP GET către stația SR, în care își transmite poziția recepționată de la modulul GPS și timpul de sosire. Stația SR primește cererea, verifică dacă există stocat în tamponul circular o înregistrare a cărei timp de sosire corespunde cu cel primit în cererea HTTP și în caz afirmativ calculează poziția corectată și o trimite în răspuns către stația M.

Cererea se realizează la un URL stabilit "statiefixa.local:8080/pozitieCorectata", iar parametrii care sunt transmiși de la stația M la stația SR sunt adăugați în URL în felul următor "statiefixa.local:8080/pozitieCorectata?timpdesosire=X&latitudine=Y&longitudine=Z", unde X reprezintă valoarea timpului de sosire (ex:558151900), Y latitudinea (ex:44.44454333) și Z longitudinea (ex:26.05466184). În momentul în care se accesează această cale se rulează un program care adună la poziția transmisă, corecția corespunzătoare acesteia. Întreg procesul de aflare a corecției pentru un anumit timp de sosire este implementat folosind un mecanism de tipul RPC (Apelarea unei proceduri la distanță), care are la bază cereri de tip HTTP (GET în cazul descris mai sus).

În continuare, poziția corectată este accesibilă atât de la stația SR, cât și de la stația M și poate fi folosită mai departe pentru afișarea traiectoriei robotului de tuns iarba în cadrul perimetrului. Totodată, aceasta poate fi folosită și pentru memorarea unei hărți a traseului parcurs în vederea generării unei traiectorii pentru a asigura acoperirea perimetrului delimitat într-un procentaj cât mai mare, concept descris în capitolul "Îmbunătățiri viitoare".

7 ARHITECTURĂ

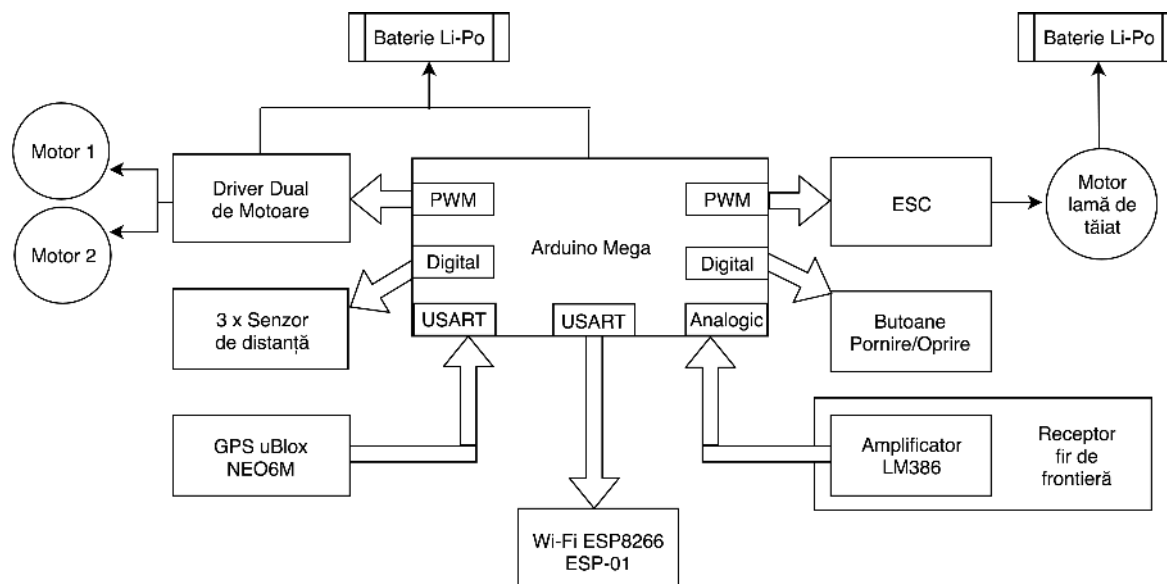


Figura 48: Vedere de ansamblu a întregului sistem

Controlul motoarelor care acționează roțile conducătoare, dar și al motorului care acționează lama de tăiat se realizează prin modulația în lățime a impulsului semnalului dreptunghiular. Acest semnal este transmis către pinii PWM ai plăcii de dezvoltare. După cum se vede în Figura 49, controlul PWM se rezumă la ajustarea factorului de umplere, iar viteza generată de motoare este proporțională cu acesta. Arduino permite un control simplu prin PWM deoarece factorul de umplere reprezintă o valoare între 0 și 255.

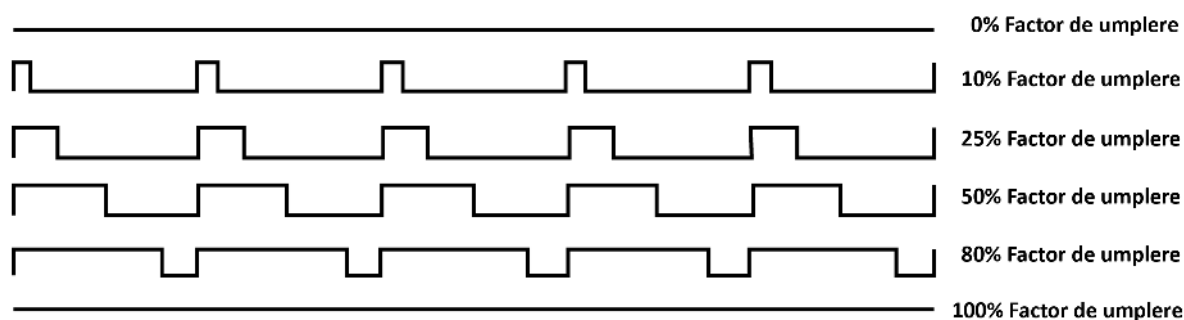


Figura 49: Modulația impulsurilor în lățime (PWM)

Conform descrierii realizate în secțiunea "Placă de dezvoltare", Arduino Mega dispune de 5 cronometre cu ajutorul cărora sunt configurați cei 15 pini de PWM. Rolul cronometrului este de a înnumăra de la 0 la 255. Semnalul de la ieșirea unui pin PWM are valoarea "1" atunci când pornește cronometrul numărătoare și devine "0" în momentul în care numărătoarea este egală cu valoarea factorului de umplere setat. Cronometrele sunt prevăzute cu mai multe canale pentru a permite efectuarea mai multor numărători în paralel. Spre exemplu, în Figura 50 este ilustrat semnalul generat de cronometru și două semnale de ieșire corespunzătoare celor două canale ale cronometrului. Factorul de umplere pentru cele două semnale este stocat în registrul fiecărui canal, iar când semnalul cronometrului ajunge la valoarea indicată de registru se observă schimbarea valorii semnalului de ieșire din "1" în "0", în ambele cazuri.

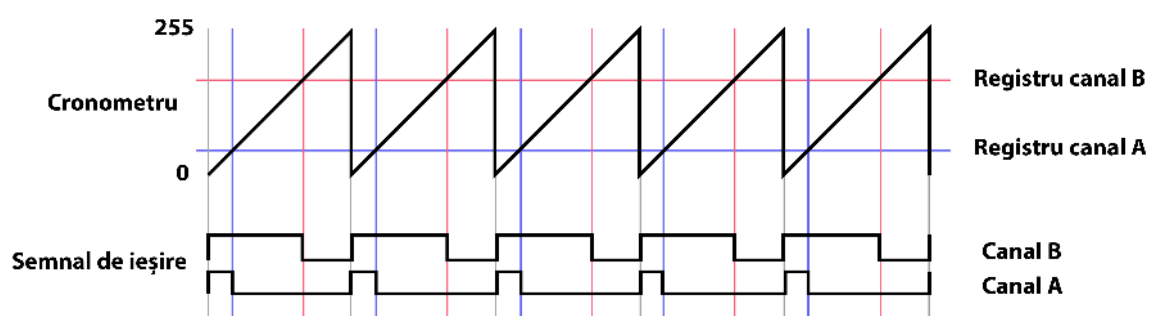


Figura 50: Principiul de funcționare a cronometrelor

Atât modulul GPS uBlox NEO6M, cât și modulul Wi-Fi ESP8266 ESP-01 realizează o comunicație serială cu Arduino Mega prin porturile RX și TX. Biblioteca SoftwareSerial permite realizarea unei comunicări seriale prin alte porturi digitale decât porturile marcate cu RX și TX.

La nivel software, se pot activa și dezactiva tipul de mesaje care se dorește să fie recepționat de la modulul GPS, de exemplu mesaje NMEA (GGA, GLL, RMS) sau UBX (POSLH, STATUS, POSECEF), prezente în Figurile 51 și 52. Aceste coduri sunt scrise pe serială către modulul GPS pentru a se stabili ce mesaje să fie transmise.

Amplificatorul din cadrul circuitului de recepție al firului de frontieră este conectat la un port analogic pentru a se citi amplitudinea semnalului recepționat. Atunci când amplitudinea semnalului trece de un anumit prag se pornește procesul de schimbare a direcției de mers.


```
// Dezactivare mesaje de tip NMEA
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0xF0,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x01,0x00,0x24, // GxGGA dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0xF0,0x01,0x00,0x00,0x00,0x00,0x01,0x01,0x2B, // GxGLL dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0xF0,0x02,0x00,0x00,0x00,0x00,0x01,0x02,0x32, // GxGSA dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0xF0,0x03,0x00,0x00,0x00,0x00,0x01,0x03,0x39, // GxGSV dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0xF0,0x04,0x00,0x00,0x00,0x00,0x01,0x04,0x40, // GxRMC dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0xF0,0x05,0x00,0x00,0x00,0x00,0x01,0x05,0x47, // GxVTG dezactivat
```

Figura 51: Dezactivare mesaje NMEA

```
// Activare mesaje de tip UBX
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0x01,0x07,0x00,0x01,0x00,0x00,0x00,0x18,0xE1, //NAV-PVT activat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0x01,0x02,0x00,0x01,0x00,0x00,0x00,0x13,0xBE, //NAV-POSLLH dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0x01,0x03,0x00,0x01,0x00,0x00,0x00,0x14,0xC5, //NAV-STATUS dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0x01,0x20,0x00,0x01,0x00,0x00,0x00,0x31,0x90, //NAV-TIMEGPS dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0x01,0x01,0x00,0x01,0x00,0x00,0x00,0x12,0xB7, //NAV_POSECEF dezactivat
0xB5,0x62,0x06,0x01,0x08,0x00,0x01,0x30,0x00,0x01,0x00,0x00,0x00,0x41,0x00, //NAV-SVINFO dezactivat
```

Figura 52: Activare mesaje UBX

Butoanele de pornire/oprire și senzorii ultrasonici sunt conectați la porturi digitale. Datele recepționate de la senzorii ultrasonici sunt transformate în distanță, măsurată în centimetri. Atunci când distanța citită de unul dintre senzori este sub un prag de coliziune setat la nivel software, se activează procesul de schimbare a direcției de mers.

Schemele în care se pot vedea conexiunile între componente și placa de dezvoltare sunt ilustrate în Figurile 53, 54.

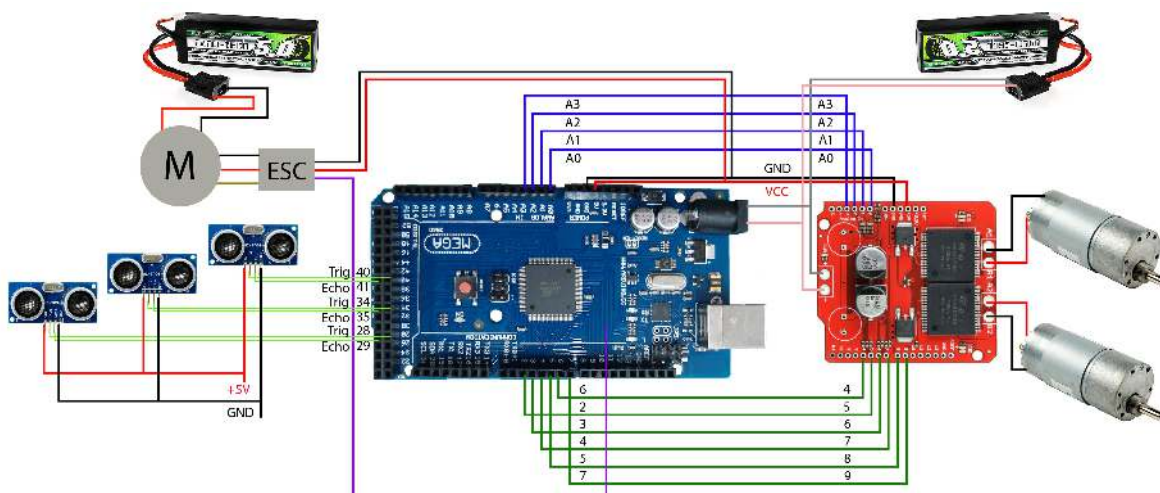


Figura 53: Schemă conexiuni

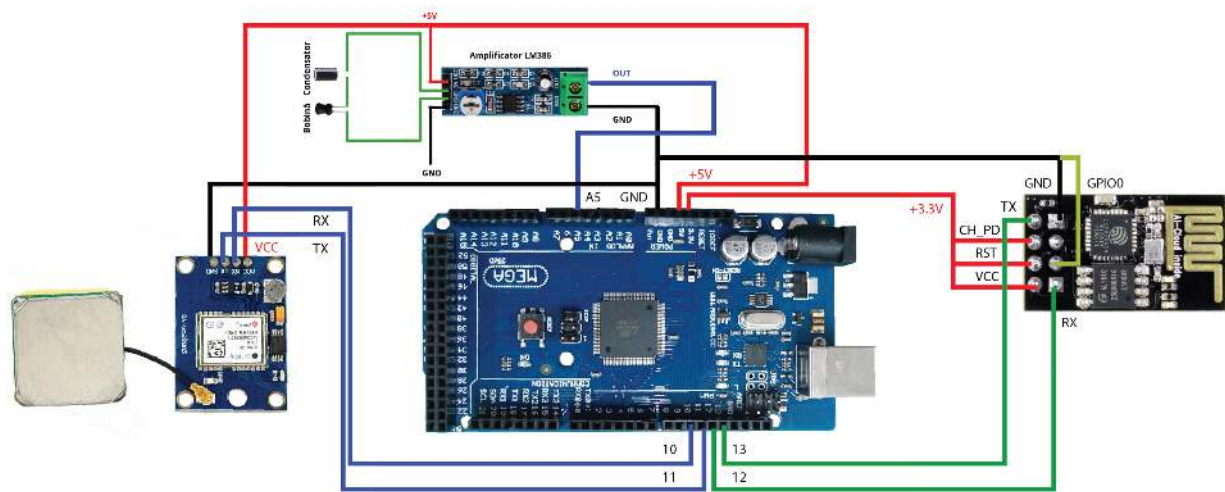


Figura 54: Schemă conexiuni

8 CONCLUZII

Robotul de tuns iarba realizat îndeplinește cerințele de funcționare descrise inițial. Au fost realizate teste în grădini cu iarbă de înălțime medie (între 6 și 10 cm), robotul reușind să se deplaseze în perimetrul delimitat. Firul de frontieră a fost detectat cu succes. De asemenea, în timpul testelor, robotul a evitat atât obstacolele statice, cât și obiectele dinamice plasate în direcția de mers a acestuia.

Totodată, s-a reușit integrarea unui sistem de GPS Diferențial care oferă o soluție pentru corectarea erorilor generate de modulul GPS. Rezultatele confirmă faptul că ideea de sistem de GPS Diferențial este aplicabilă în cazul localizării unui robot de tuns iarba. În continuare, dezvoltarea acestui sistem și îmbunătățirea rezultatelor pot fi idei de studii viitoare care vor avea ca bază prototipul conceput în cadrul acestui proiect.

Prototipul a reușit să îndeplinească cu succes funcțiile de bază pe care le îndeplinesc și restul modelelor prezentate în capitolul "Studiu de piață", având un cost estimat de proiectare și dezvoltare sub 500€.

Proiectul și-a propus automatizarea procesului de tundere a gazonului, prin urmare și reducerea dependenței umane în cadrul acestei activități. Pentru ca robotul să beneficieze de o autonomie cât mai mare, se pot dezvolta în continuare o serie de funcționalități, prezentate în următorul capitol de îmbunătățiri viitoare.

9 ÎMBUNĂȚĂȚIRI VIITOARE

În acest capitol sunt subliniate o serie de îmbunătățiri viitoare care pot oferi robotului de tuns iarba o autonomie cât mai mare.

9.1 Maparea perimetrului

După cum am prezentat în cadrul secțiunii de "Implementare sistem GPS Diferențial", după ce este realizat sistemul de GPS Diferențial care permite localizarea robotului de tuns iarba cu o precizie mai bună, o viitoare dezvoltare a proiectului este reprezentată de maparea perimetrului. Robotul de tuns iarba intră în modul de mapare a terenului la prima pornire, mod în care se deplasează în cadrul perimetrului delimitat și își construiește o hartă pe baza pozițiilor corectate. Odată realizată această hartă, robotul va intra în modul de maximă acoperire a perimetrului, în care traiectoria acestuia este determinată pe baza unui algoritm de inundare a suprafeței cunoscute. În acest punct, robotul putând să se orienteze pe baza hărții memorate, se poate încerca și renunțarea la firul de frontieră la parcurgerile ulterioare.

9.2 Stație de încărcare



Figura 55: Stație de încărcare HUSQVARNA Automower 450X¹

¹<http://www.smallengines.co.nz/pages/husqvarna-automower-450x/>, accesat la data de 20.06.2018

Modelele de mașini de tuns iarba autonome dispun de o stație de încărcare. În momentul în care bateria scade sub un anumit prag, mașina de tuns iarba intră în modul de căutare a stației de încărcare. Unele modele, precum HUSQVARNA Automower 450X, pot avea mai multe moduri de căutare a stației de încărcare, printre care un mod de căutare aleator până când se ajunge în vecinătatea stației de încărcare sau un mod de căutare bazat pe urmărirea firului de frontieră până la locația de amplasare a stației.

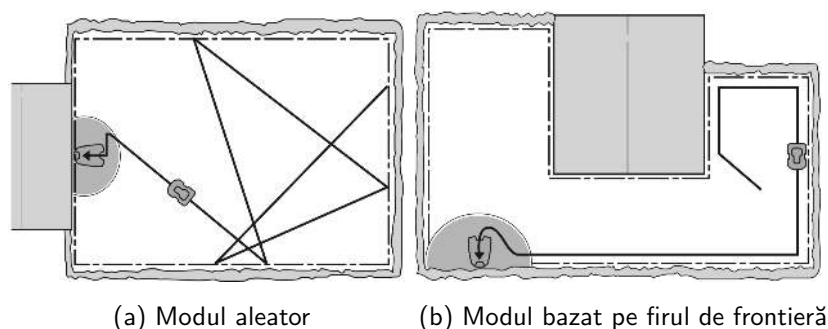


Figura 56: Moduri de căutare stație de încărcare HUSQVARNA Automower 450X²

9.3 Proiectare circuit electronic imprimat

O îmbunătățire a proiectului o constituie proiectarea unui circuit electronic imprimat care să integreze toate componentele hardware utilizate. Printre avantajele proiectării și imprimării unui astfel de circuit se înnumără reducerea zgomotului electromagnetic, disipare mai bună a căldurii, posibilitate de lucrare la frecvențe mai mari și existența unor conexiuni mult mai sigure.

9.4 Lame de tăiat iarba pivotante

Modelul HUSQVARNA Automower 430X dispune de lame de tăiat pivotante care intră în interiorul discului de care sunt prinse, la contactul cu un obiect. Această mișcare de pivotare

²https://www.myrobotcenter.eu/en/downloads/dl/file/id/952/husqvarna_automower_420_430x_450x_manual.pdf, accesat la data de 20.06.2018

³<http://www.smallengines.co.nz/pages/husqvarna-automower-330x/>, accesat la data de 22.06.2018



Figura 57: Lamă pivotantă HUSQVARNA Automower 430X³

a lamelor reduce gradul de deteriorare a obiectelor de dimensiune mică care pot ajunge sub robot în timpul mersului deoarece senzorii de distanță nu le detectează prezența.

9.5 Aplicație mobilă

După cum am prezentat în capitolul "Studiu de Piață", în Tabela 1, modelele de mașini de tuns iarba au și aplicație mobilă (Figura 59) pe care utilizatorii o pot folosi pentru a da comenzi mașinii de tuns și a ajusta setările acesteia.



Figura 58: Aplicație mobilă HUSQVARNA Automower 450X⁴

⁴<http://robotnyheter.se/2018/01/21/husqvarna-automower-315x-uppkopplad-robotgrasklippare-med-gps-> accesat la data de 22.06.2018

9.6 Sistem antifurt

O modalitate de a preveni furtul roboților de tuns iarba, adoptată de majoritatea modelelor HUSQVARNA Automower, este integrarea unui sistem de securitate cu cod PIN. Astfel, robotul poate fi pornit doar de către utilizator prin introducerea codului PIN unic.



Figura 59: Sistem cu cod PIN HUSQVARNA Automower 450X⁵

⁵<https://www.husqvarna.com/us/lawn-and-garden/how-to-guides/robot-lawn-mower-faq/>, accesat la data de 22.06.2018

BIBLIOGRAFIE

- [1] https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/u-blox6_ReceiverDescrProtSpec_%28GPS.G6-SW-10018%29_Public.pdf.
- [2] Shai Abramson. Robotic lawnmower and charging and control systems therefor, January 6 2015. US Patent 8,930,024.
- [3] Bharati Bidikar, Gottapu Sasibhushana Rao, Laveti Ganesh, and MNVS Santosh Kumar. Satellite clock error and orbital solution error estimation for precise navigation applications. *Positioning*, 5(01):22, 2014.
- [4] Younsil Kim Ho Yun Byungwoon Park, Jeongkeun Lee and Changdon Kee. Dgps enhancement to gps nmea output data: Dgps by correction projection to position-domain. research gate. retrieved january 21, 2016. 2013.
- [5] Borje Forssell. Radionavigation systems. 2008.
- [6] Yuheng He, Rainer Martin, and Attila Bilgic. Scalable low-complexity gps and dgps positioning using approximate qr decomposition. *Signal Processing*, 94:445–455, 2014.
- [7] Christopher J Hegarty and Eric Chatre. Evolution of the global navigation satellite system (gnss). *Proceedings of the IEEE*, 96(12):1902–1917, 2008.
- [8] Bernhard Hofmann-Wellenhof, Herbert Lichtenegger, and James Collins. *Global positioning system: theory and practice*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [9] Martin Svaton. Low-cost implementation of differential gps using arduino, 2016.
- [10] Tom Van Flandern. What the global positioning system tells us about relativity. *Open questions in relativistic physics*, pages 81–90, 1998.

10 ANEXE

10.1 Acronime

ESC (Electronic Speed Control) - Circuit electronic de control al motorului

GPS (Global Positioning System) - Sistem global de poziționare

GPS (Differential Global Positioning System) - Sistem global de poziționare diferențial

GNSS (Global Navigation Satellite System) - Sistem de poziționare globală prin satelit

PRN (Pseudorange Noise) - Zgomot pseudoaleator

ToA (Time of Arrival) - timpul parcurs de semnal de la satelit la receptorul GPS NMEA (National Marine Electronics Association) - Asociația Națională de Electronică Marină

RMC (Recommended Minimum Specific GNSS Data) – conține informații precum latitudine, longitudine, viteză, curs

GGA (Global Positioning System Fix Data) – conține informații precum poziție, elevație, oră, numărul de sateliți utilizați, tipul de remediere și vârsta de corecție

GSA (GNSS DOP and Active Satellites) – conține informații detaliate despre sateliți

GLL (Geographic Position - Latitude/Longitude) - conține informații precum latitudine și longitudine, timpul de fixare a poziției și statusul

GSV (GNSS Satellites in View) - conține informații despre fiecare satelit vizibil, precum elevație, azimut, numărul de identificare al satelitului

GBS (Satellite Fault Detection) - conține informații despre posibile erori în latitudine, longitudine, altitudine

GRS (GNSS Range Residuals) - conține informații despre reziduuri

GST (GNSS Pseudorange Errors Statistics) - conține informații despre deviațiile standard

PWM (Pulse-Width Modulation) - Modulația impulsurilor în lățime