

UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREŞTI
Facultatea de Inginerie Electrică
Program de studiu: Informatică Aplicată



PROIECT DE DIPLOMĂ

Coordonatori științifici:

Şef lucr. dr. ing. Florin Ciprian ARGATU

Şef lucr. dr. ing. Felix Constantin ADOCHIEI

Absolvent:

Victor STANCIU

BUCUREŞTI

2020

UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREŞTI

Facultatea de Inginerie Electrică

Program de studiu: Informatică Aplicată



PROIECT DE DIPLOMĂ

Sistem intelligent de scanare 3D și reconstrucție a unei încăperi, utilizând LiDAR

Coordonatori științifici:

Şef lucr. dr. ing. Florin Ciprian ARGATU

Şef lucr. dr. ing. Felix Constantin ADOCHIEI

Absolvent:

Victor STANCIU

BUCUREŞTI

2020

CUPRINS

INTRODUCERE.....	1
Capitol 1. FUNDAMENTELE SCANĂRII LASER 3D	2
1.1 Istoria scannerelor 3D	2
1.2 Istoria LiDAR-ului	3
1.3 Situația actuală	4
1.4 Tehnici de scanare 3D	6
1.4.1 Tehnica de scanare prin contact	6
1.4.2 Tehnica de scanare fără contact.....	7
1.5 Prinzipiul fundamental al scanării cu laser.....	7
1.6 Metode de măsurare cu laser	9
1.6.1 Timp de zbor	9
1.6.2 Diferența de fază:	9
1.6.3 Triangulație:	10
1.7 Reconstrucția digitală a suprafețelor scanate	10
Capitol 2. SCANNERE 3D CU LiDAR.....	12
2.1 Clasificarea scannerelor 3D cu laser	12
2.1.1 Scannere 3D aeropuritate	12
2.1.2 Scannere 3D terestre.....	13
2.1.3 Scannere 3D portabile	13
2.2 Aplicații ale scannerelor 3D.....	14
2.3 Aplicații ale LiDAR-elor.....	17
2.4 Avantaje și dezavantaje ale scanării laser 3D	18
Capitol 3. MATERIALE ȘI METODE UTILIZATE	20
3.1 Componente hardware.....	20
3.1.1 Placă de dezvoltare Arduino Uno.....	20
3.1.2 „Scut” de prototipare	21
3.1.3 Garmin LiDAR Lite V3	21
3.1.4 Motor pas cu pas.....	22
3.1.5 Driver A4988.....	23
3.1.6 Inel rotitor.....	24
3.1.7 Servomotor	24
3.1.8 Sursa de alimentare	25
3.1.9 Piese de bază pentru îmbinarea componentelor	25
3.1.10 Alte componente.....	26
3.2 Componente software.....	27

3.2.1 Arduino IDE	27
3.2.2 Programul Arduino pentru scanare 3D	28
3.2.3 Processing 3	28
3.2.4 CoolTerm	29
3.2.5 CloudCompare	30
3.3 Metode	31
3.3.1 Realizarea scannerului	31
3.3.2 Modul de funcționare și punere în funcțiune	36
Capitol 4. TESTE ȘI REZULTATE	41
4.1 Scanare 2D	42
4.2 Scanare 3D	43
4.3 Reconstucția modelului 3D	50
CONCLUZII	52
BIBLIOGRAFIE	54
ANEXE	58
Anexa 1. Codul utilizat pentru programarea Arduino Uno	58
Anexa 2. Codul Processing utilziat	61
Anexa 3. Diploma obținută în cadrul Sesiunii de Comunicări Științifice Studențești	64

INTRODUCERE

Scannerele 3D cu laser sunt dispozitive ce au capacitatea de a scană sute de mii sau chiar milioane de puncte într-o perioadă scurtă de timp. Aceste sisteme efectuează măsurători asupra unor suprafețe utilizând diferite principii precum timpul de zbor și triangulație, rezultatul acestora fiind reprezentat sub forma unui nor de puncte. [1] Norul de puncte, aşa cum sugerează și numele, este o structură 3D compusă din multimea de puncte scanate, afișate în mediul digital. Aceasta constituie punctul de plecare în ceea ce privește crearea suprafețelor modelului 3D [1].

Pentru crearea modelului 3D, deseori este necesar ca suprafața ce prezintă interes să fie scanată de mai multe ori, din diferite unghiuri. Norii de puncte rezultați în urma scanărilor efectuate sunt aduși la același sistem de referință urmând apoi să fie uniți pentru a forma un singur nor de puncte, pe baza căruia se construiește modelul 3D [1].

Obiectivul prezentei lucrări este acela de a realiza un sistem de scanare 3D și reconstrucție a unei încăperi, utilizând LiDAR. La realizarea acestui sistem s-a urmărit menținerea unui raport optim între calitatea rezultatelor obținute și costul pe care acesta l-a presupus.[2]

Motivul alegerii acestei teme îl reprezintă evoluția rapidă a acestei tehnologii dar și domeniile vaste de aplicabilitate precum producția de materiale, divertisment, construcții, mecanică, inginerie inversă. Scanarea 3D a devenit în ultimii ani cea mai utilizată metodă de scanare datorită avantajelor pe care le are în comparație cu celelalte metode existente.[3]

Prezenta lucrare este structurată astfel: [4]

- Prima secțiune, ce include noțiuni generale privind scanarea 3D cu laser, situația actuală și principii și tehnici de scanare;
- A doua secțiune se referă la descrierea mai amănunțită a tipurilor de scannere, a domeniilor de aplicabilitate și a avantajelor și dezavantajelor scanării 3D cu laser;
- A treia secțiune prezintă detaliat componente hardware și software utilizate și metoda de realizare al sistemului și modul de funcționare al acestuia;
- Ultima secțiune prezintă testarea propriu-zisă a sistemului, rezultatele și concluziile obținute în acestora.

Capitol 1. FUNDAMENTELE SCANĂRII LASER 3D

1.1 Istoria scannerelor 3D

Scanarea 3D cu laser a fost dezvoltată în a doua jumătate a secolului 20 în încercarea de a reproduce cu acuratețe suprafețele unor obiecte sau spații. Această tehnologie este utilă în domeniul cercetării și design-ului. Prima tehnologie de scanare 3D a apărut în anii 1960. Primele scannere utilizau lumini, camere și proiecțioare, dar din cauza limitărilor impuse de echipamente, scanarea cu acuratețe a obiectelor necesită deseori foarte mult timp și efort. După 1985, scannerele utilizate până atunci au fost înlocuite de scannere ce puteau utiliza lumina, lasere și umbre pentru a capta o anumită suprafață. În continuare este prezentată pe scurt evoluția scannerelor 3D [2][3][4].

Odată cu apariția calculatoarelor, a apărut și posibilitatea realizării unui model mult mai complex, dar impedimentul a stat în construirea lui, întrucât suprafețele complexe erau greu de măsurat cu ruleta. Astfel, în anii 1980, industria a dezvoltat un dispozitiv de măsurare ce necesită contact fizic cu obiectul de măsurat. Deși acuratețea măsurărilor a crescut, timpul necesar scanării obiectelor a rămas în continuare foarte lung. Pentru a micșora timpul necesar scanărilor, experții au început dezvoltarea tehnologiei optice, întrucât lumina este mult mai rapidă decât dispozitivele de măsurare ce necesită contactul fizic. Astfel, s-a făcut posibilă și scanarea obiectelor ușor deformabile, pentru care contactul fizic reprezintă un risc de deteriorare [1][2][3][4].

În acea vreme, erau deja disponibile 3 tipuri de tehnologie de scanare optică.

- Scanare în puncte, care utilizează un singur punct ca referință. Era metoda cea mai lentă, întrucât senzorul trebuia să efectueze multiple deplasări;
- Scanare pe suprafață, care era dificilă din punct de vedere tehnic;
- Scanare în benzi, care a fost mult mai rapidă decât cea în puncte, deoarece scană mai multe puncte deodată, cu aceeași acuratețe.

Deși experții au stabilit că metoda de scanare în benzi este cea mai bună din punct de vedere al vitezei de scanare și al acurateței, aceștia au întâmpinat o nouă piedică și anume capacitatea de procesare a datelor obținute în urma scanării, de către calculatoare. Acestea trebuiau să combine norii de puncte rezultați în urma mai multor scanări și să eliminate erorile.

Evoluția acestor scannere a continuat de-a lungul anilor, iar în mijlocul anilor 1990, au apărut scannere 3D operate manual cu rezultate deosebite. Acestea erau capabile să reproducă modele complexe într-un timp de câteva minute, dar și să capteze culoarea obiectului scanat [1][2][3][4].

1.2 Istoria LiDAR-ului

Principiul LiDAR a apărut dinaintea perioadei laser. În anii 1930, aveau loc primele încercări de măsurare a densității aerului din zona atmosferică, prin determinarea intensității împărtășierii razelor emise de către proiectoare. Informațiile privind înălțimea au fost obținute prin scanarea câmpului vizual al receiver-ului unui telescop îndepărtat, pe direcția razei neîntrerupte de lumină. În 1938, au fost utilizate pentru prima dată pulsuri de lumină pentru măsurarea înălțimii bazei norilor. Generația de pulsuri de lumină obținute prin scânteie electrice și stroboscoape sau lămpi flash au permis înlocuirea configurației bistatice cu cea monostatică a senzorilor. Această configurație presupune ca transmițătorul și receptorul să se afle în același loc, iar informația privind înălțimea este dedusă prin măsurarea timpului dintre emiterea pulsului de către transmițător și detectarea acestuia de către receptor. Acronimul LiDAR pentru această tehnică de măsurare a fost introdusă pentru prima dată de Middleton și Spilhaus în 1953. Dezvoltarea rapidă a noii tehnologii LiDAR a început cu inventia laserului în 1960 și a laserului Q-switched în 1962. Fiocco și Smullin au publicat în 1963 observații asupra atmosferei în urma unor teste efectuate cu un laser cu rubin. Aproximativ 10 ani mai târziu, toate tehniciile LiDAR de bază au fost sugerate și demonstate. Prin urmare, prima carte despre LiDAR a apărut în 1976 și a fost editată de E.D. Hinkley. Din acel moment, succesul în dezvoltarea LiDAR a fost în strânsă legătură cu progresul tehnologiilor optică și electronică, mai exact a tehnologiei laser. Cercetătorii în domeniul LiDAR au fost întotdeauna implicați în dezvoltarea laserului. Multe instrumente utilizează lasere special proiectate pentru LiDAR, pentru a îndeplini cerințele ridicate ale anumitor tehnici LiDAR cu privire la puterea laserului, lungimi de undă, lățimea pulsurilor, forma fasciculului și puritatea spectrului, parametri de obicei nerespectat de produsele comerciale. Pe lângă lasere, filtre optice cu transmisivitate ridicată, bandă îngustă, pantă abruptă și suprimare puternică a componentelor din afara benzii de trecere, detectoare eficiente de intervale late de lungimi de undă, sisteme de achiziție de date cu domenii de măsurare de diferite ordine de mărime și calculatoare care pot procesa volume mari de date în repede rânduri, fac parte din categoria de dispozitive ce sunt necesare sistemelor LiDAR avansate. Din acest motiv, LiDAR a fost întotdeauna o sursă de dezvoltare a tehnologiei [5].

1.3 Situația actuală

Piața scannerelor 3D a fost evaluată la 1,23 miliarde de dolari americanii în anul 2019 iar experții se așteaptă ca valoarea acesteia să crească la aproximativ 4 miliarde de dolari până la finalul anului 2025, având o rată anuală de creștere compusă de 22,21% pe perioada studiului (2020-2025) [6].

În acest moment, scannerele 3D sunt utilizate în crearea de prototipuri și în producția componentelor esențiale, indiferent de mărimea acestora. Acestea sunt utilizate atât pe teren, cât și în fabricile de producție și oferă rezultate extraordinare. Scannerele 3D nu sunt încă utilizate pe scară largă din cauza prețurilor foarte mari [6].

Principalele domenii de aplicabilitate ale scannerelor 3D sunt: medical, aerospațial, apărării, arhitectural și inginerie, educație și cercetare, divertisment.

Dat fiind faptul că aceste tehnologii sunt încă la început de drum, de unde și prețurile foarte mari, piața scannerelor 3D este fragmentată, astfel că rivalitatea producătorilor este mare. La momentul actual, Statele Unite detin cea mai mare parte din piața scannerelor 3D [6].

Principalii producători de scannere 3D și programe software pentru modelare sunt: 3D Systems Inc., Creaform, Topcon Corporation, Autodesk Inc. și Hexagon AB [6].

În tabelul 1.1 este prezentată comparația dintre două scannere 3D: GO!SCAN, produs de firma Creaform, aflat în top 10 cele mai performante, respectiv PEEL2, produs de firma PEEL, aflat în clasa mijlocie a scannerelor 3D.



Fig. 1.1 Scannerele GO!SCAN (stânga) și PEEL2 (dreapta) [7][8].

Tab. 1.1 – Comparație între două scannere laser 3D.

Specificații	Creaform GO!SCAN 3D [7]	Peel 3D PEEL2 [8]
Preț	\$39.900	\$7.690
Acuratețe [mm]	0,05	0,25
Rezoluția norului de puncte [mm]	0,1	0,25
Rezoluția rețelei de discretizare [mm]	0,2	0,5
Rata de măsurare [măsurători/secundă]	1.500.000	550.000
Sursa radiației	Lumină albă	Lumină albă
Suprafața scanată [mm ²]	390 x 390	380 x 380
Captează culoare	DA	DA
Formatul fișierelor exportate	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr, .3mf	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr

În ceea ce privește sistemele LiDAR, experții se așteaptă ca piața acestora să ajungă la valoarea de 921,2 milioane de dolari americani până în anul 2022, având o rată anuală de creștere compusă de 18,5% pe perioada studiului (2016-2022) [9].

Principalii factorii ce determină creșterea pieței sistemelor LiDAR în prezent sunt: capabilitatea acestor sisteme de a procesa un volum foarte mare de date într-un timp foarte scurt, comparativ cu alte tehnologii, cererea în continuă creștere de tehnologii de scanare 3D ce pot fi implementate în diferite aplicații și adoptarea sistemelor LiDAR aeropurtate. Pe de altă parte, costurile ridicate ale componentelor sistemelor LiDAR precum camerele 3D și laserele sunt factori ce inhibă creșterea cererii acestor sisteme pe piață [9].

Sistemele LiDAR sunt cel mai des regăsite în domeniul automobilelor, datorită evoluției mașinilor autonome, dar și în domeniul sistemelor de scanare 3D, datorită performanțelor ridicate comparativ cu alte tehnologii [9].

Principalii producători de sisteme LiDAR sunt: Hexagon AB, Velodyne LiDAR Inc., Sick AG, Topcon Positioning Systems Inc, Trimble Inc. [10].

În tabelul 1.2 este prezentată comparația dintre doi senzori LiDAR: Alpha Prime, produs de firma Velodyne LiDAR și MRS1104C-111011 produs de firma SICK AG.



Fig. 1.2. Sistemele LiDAR Alpha Prime (stânga) și MRS1104C-111011 (dreapta) [11][12].

Tab. 1.2 – Comparație între două sisteme LiDAR.

Specificații	Velodyne LiDAR Alpha Prime [13]	SICK AG MRS1104C- 111011 [12]
Distanța maximă la care măsoară [m]	245	64
Câmp vizual orizontal [°]	360	275
Câmp vizual vertical [°]	40	7,5
Rezoluție verticală unghiulară [°]	Minim 0,11	0,25
Frecvența de scanare [Hz]	5-20	50
Lungimea de undă a laserului [nm]	903	850
Rata de măsurare	2,4-4,8 mil/s	55-165 mil/s

1.4 Tehnici de scanare 3D

Brian Curless a stabilit în 1999, în lucrarea „From Range Scans to 3D Models”, o clasificare a tehniciilor de scanare 3D: Tehnici de scanare prin contact și tehnici de scanare fără contact. Tehnicile de scanare fără contact pot fi împărțite la rândul lor în două tipuri principale: scanare activă și scanare pasivă [2][14]. Scanarea prin contact presupune contactul fizic dintre sondă și obiectul de scanat, iar scanarea fără contact se bazează pe surse optice, laser, sau o combinație între cele două [15].

1.4.1 Tehnica de scanare prin contact

În trecut, singura modalitate de scanare o reprezinta scanarea prin contact. Aceasta presupune așezarea obiectului de interes pe o platformă perfect dreaptă, iar scanarea propriu-zisă se efectuează cu ajutorul unei sonde aflate la capătul unui braț mecanic articulat. Pentru obținerea modelului 3D al obiectului analizat, sonda de măsurare intră în contact cu obiectul și astfel se obțin coordonatele (xyz) punctelor din norul de puncte.

În prezent această tehnică este foarte des utilizată, iar un exemplu foarte bun pentru această metodă îl reprezintă o mașină de măsurare în coordonate (MMC) [2][15].

1.4.2 Tehnica de scanare fără contact

Această tehnică a apărut din două motive: nevoia scanării rapide a obiectelor de interes sau a împrejurimilor și nevoia de a proteja obiectele pentru care contactul fizic prezintă risc de deteriorare.

Scannerele bazate pe această tehnică utilizează surse optice, laser sau o combinație de cele două pentru a obține norul de puncte ce modelează obiectul sau spațiul scanat. Trecerea de la sonda de măsurare din cazul anterior la scanarea cu laser face ca modelele 3D obținute în urma scanării să fie mult mai precise [2][15].

1.4.2.1 Scanare activă fără contact

Această tehnică are la bază scanerele active. Scannerele active sunt cele care au propria sursă de radiații. Pentru realizarea norului de puncte, scannerul activ emite radiații pe care le captează după ce acestea se reflectă de pe suprafața ce prezintă interes. Radiațiile pot fi: lumină, ultrasunete sau raze X [15].

1.4.2.2 Scanare pasivă fără contact

Această tehnică de scanare are la bază scannerele pasive. Acestea, spre deosebire de cele active, sunt scannere care nu au în construcția lor o sursă de radiații. Pentru realizarea norului de puncte, scannerul pasiv se bazează pe detectarea și captarea radiațiilor reflectate din mediul ambient. Majoritatea scannerelor pasive sunt construite astfel încât să detecteze radiațiile din spectrul vizibil, dar se pot detecta și alte radiații, precum radiația în infraroșu [2][15].

1.5 Prinzipiul fundamental al scanării cu laser

Laserul reprezintă radiația electromagnetică cu un interval larg al lungimilor de undă. Acesta cuprinde în totalitate spectrul vizibil (380-750nm) și o parte din spectrele ultraviolet și infraroșu (figura 1.3) [16].

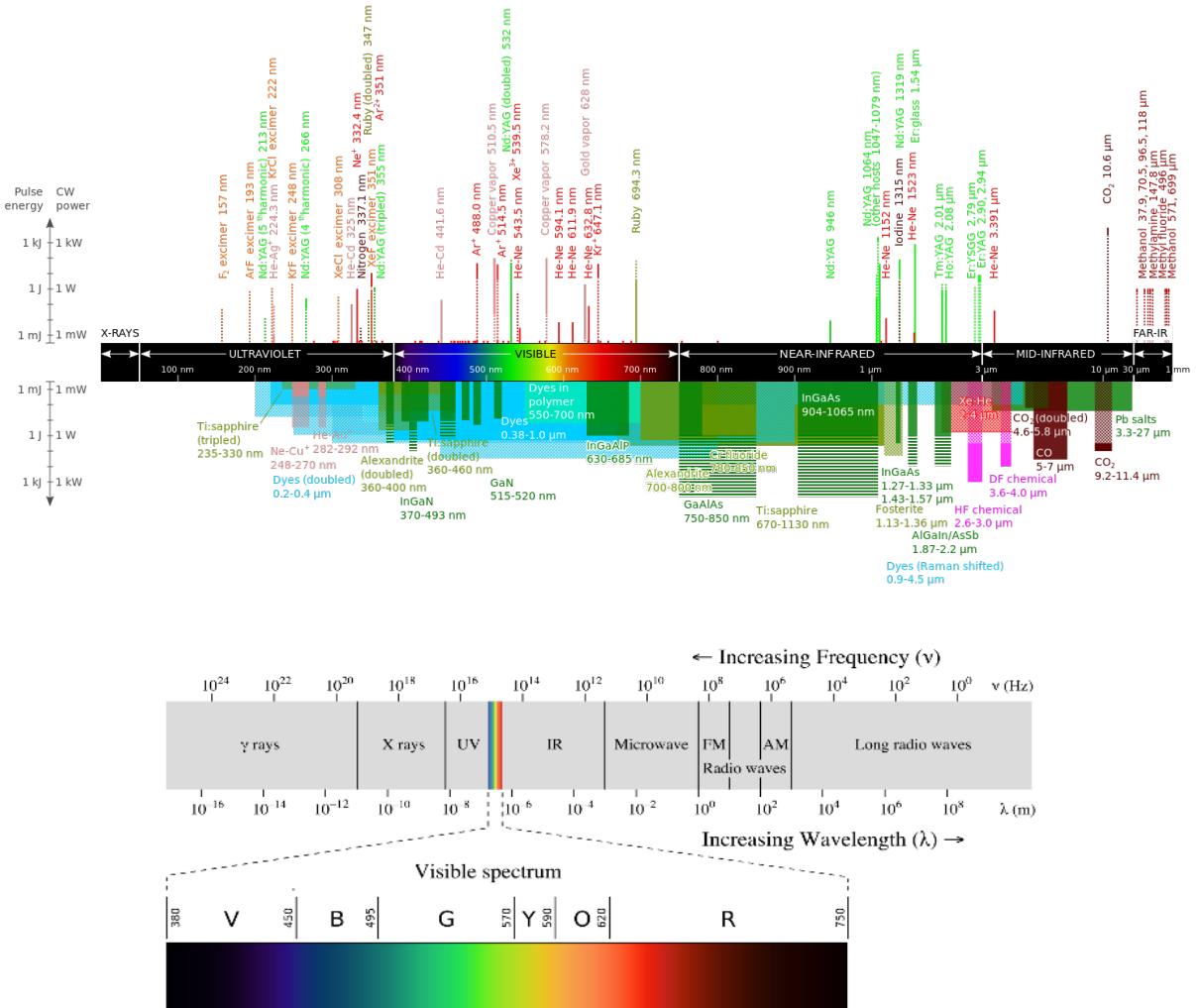


Fig. 1.3. Spectrul laser (sus) și spectrul vizibil (jos) [17][18]

În timpul scanării, radiațiile emise de scanner, se propagă pe diferite traiectorii, iar în momentul în care acestea ating suprafața de scanat, o parte din radiație este absorbită, o parte este transmisă și o parte este reflectată [16].

Energia radiației incidente pe suprafață de scanat este dată de relația următoare [16]:

$$E_{I\lambda} = E_{T\lambda} + E_{A\lambda} + E_{R\lambda} \quad (1.1)$$

unde:

- λ reprezintă lungimea de undă a radiației;
- $E_{I\lambda}$ reprezintă energia radiației incidente;
- $E_{T\lambda}$ reprezintă energia radiației transmise;
- $E_{A\lambda}$ reprezintă energia radiației absorbite;
- $E_{R\lambda}$ reprezintă energia radiației reflectate.

În general, cantitatea de radiație reflectată depinde de unghiul de incidentă a radiației. Cu cât acesta este mai mare, cu atât cantitatea de radiație este mai mare. Sistemele LiDAR utilizează această reflexie a radiației de pe suprafețele obiectelor pentru efectuarea scanării [16].

1.6 Metode de măsurare cu laser

Există trei metode de măsurare pentru scannerele cu laser: Timp de zbor, Diferența de fază și Triangulație. Deși de obicei aceste metode se utilizează separat, pentru a obține un model 3D cât mai apropiat de realitate, există cazuri în care sunt utilizate fie două, fie toate cele trei metode [2].

Mai jos sunt prezentate pe scurt cele trei metode de măsurare cu laser.

1.6.1 Timp de zbor

Măsoară intervalul de timp de la momentul emiterii radiației și până la momentul captării reflexiei radiației respective. Cunoscând acest interval de timp și viteza luminii, se poate determina distanța de la scanner la suprafața scanată utilizând formula următoare [14][15]:

$$d = \frac{c*t}{2} \quad (1.2)$$

unde:

- d reprezintă distanța dintre scanner și suprafața scanată;
- c este viteza luminii;
- t este timpul necesar radiației să parcurgă distanța dintre scanner și suprafața scanată.

1.6.2 Diferența de fază:

Măsoară defazajul apărut între forma de undă a radiației emise și a celei captate, după reflexia acesteia de pe suprafața scanată. În funcție de defazajul măsurat, se află distanța până la suprafața scanată. Această metodă e mai precisă decât metoda „timpului de zbor” [2][14].

1.6.3 Triangulație:

Utilizează o sursă laser și o cameră ce funcționează pe post de senzor de poziție capabilă să măsoare poziția unui punct iluminat sau a unei linii. Sursa laser emite radiații (sub formă de punct sau plan) pe suprafață ce trebuie scanată, iar reflexia radiațiilor (sub formă de punct sau linie) este captată de senzorul de poziție. În funcție de distanța la care se află suprafața scanată, punctul sau linia luminoasă își schimbă poziția. Camera, sursa laser și suprafața de scanat reprezintă colțurile unui triunghi și, cunoșcând distanța dintre cameră și sursa laser și unghiiurile celor două, se poate determina distanța de la scanner la suprafața de scanat [14][15][19].

1.7 Reconstituirea digitală a suprafețelor scanate

Principiul de reconstrucție a suprafețelor scanate este următorul: Se dă un nor de puncte „P”. Presupunem ca acest nor de puncte definește o suprafață „S”. Ne interesează să construim suprafața „S” pe baza suprafeței „S” pe care o formează norul de puncte „P”. Acest lucru este complicat deoarece punctele din „P” nu sunt întotdeauna plasate corect. Astfel, reconstrucția suprafețelor nu garantează un rezultat exact, întrucât aceasta se bazează pe un număr finit de puncte [20].

Pentru transformarea norului de puncte obținut în urma scanării suprafeței într-un model 3D, acesta trebuie introdus într-un program software CAD sau CAM precum CloudCompare, MeshLab, AutoCAD, SolidWorks, PolyWorks, etc. Procesul de reconstrucție constă în parcursarea următoarelor etape descrise mai jos [20]:

- Preprocesare: presupune eliminarea datelor eronate, a punctelor suprapuse sau umplerea de „goluri” în norul de puncte în scopul reducerii timpului de procesare [20];
- Determinarea topologiei globale a suprafeței: în procesul de reconstrucție trebuie să se ia în considerare relațiile dintre suprafețele obiectului, precum muchiile. Această etapă poate fi verificată prin diferite metode precum planele de secțiune [20].
- Generarea suprafeței poligonale (rețelei de discretizare): în această etapă trebuie să se aleagă un tip adecvat de element și să se împărtășească suprafața în elemente finite. Tipul de element (triunghiular) stă la baza analizei modelului, întrucât rețeaua de discretizare dă forma geometrică aproximativă a suprafeței modelului 3D [20][21].

- Postprocesare: După crearea modelului 3D, utilizatorii pot interveni pentru a modifica suprafețele, în cazul în care unele erori persistă.

Tipurile de fișiere în care norul de puncte, obținut în urma scanării 3D, poate fi salvat se împart în două categorii, în funcție de formatul general: ASCII sau binar. Formatul ASCII se bazează pe formatul binar, dar salvează datele sub formă de text, iar fișierele cu format binar salvează datele în cod binar [22].

Aceste două categorii sunt la rândul lor împărțite în funcție de formatul (extensia) fișierului. Mai jos sunt prezentate cele mai utilizate extensii pentru aceste fișiere [22]:

- ASCII: .txt, .xyz, .obj, .ptx, .asc, .stl;
- Binar: .fls, .pcd, .las.

În urma postprocesării, modelul 3D creat poate fi modificat în continuare (pentru dezvoltare: jocuri video, design, etc.) sau realizat fizic utilizând o imprimantă 3D.

Capitol 2. SCANNERE 3D CU LiDAR

2.1 Clasificarea scannerelor 3D cu laser

Scannerele 3D cu LiDAR sunt de diferite tipuri, în funcție de aplicațiile pentru care sunt create. Acestea se împart în următoarele categorii: scannere aeropurtate, scannere terestre și scannere portabile.

2.1.1 Scannere 3D aeropurtate

În cazul sistemelor aeropurtate, scannerul este instalat fie pe un avion, fie pe un elicopter, fie pe o dronă. Alături de acest sistem, este necesar ca aeronava să disponă și de următoarele componente: sistem de poziționare globală (GPS), utilizat pentru determinarea poziției aeronavei și sistem de referință inertial (IRS), utilizat pentru monitorizarea continuă a orientării și a altitudinii aeronavei [2][23][24].

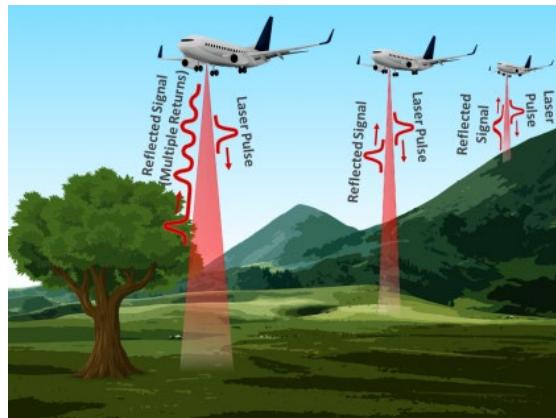


Fig. 2.1. Modul de funcționare al scannerelor 3D aeropurtate [25]

Scannerele 3D aeropurtate se împart la rândul lor, în funcție de tipul de LiDAR utilizat, în două subcategorii și anume sisteme topografice și sisteme batimetrice [23][24].

Sistemele topografice sunt utilizate pentru măsurători ale suprafețelor de teren, planificare urbană, geomorfologie, crearea hărților [23][24].

Sistemele batimetrice sunt utilizate pentru măsurarea adâncimii apelor. Radiația laser este emisă către sol iar aceasta se reflectă o dată de pe suprafața apei, apoi de pe suprafața solului. Astfel, prin analiza celor două semnale, sistemul poate calcula adâncimea apei. Analiza cu ajutorul sistemelor batimetrice este foarte importantă în apropierea porturilor, coastelor maritime, malurilor și ajută și în localizarea obiectelor din adâncuri [23][24].

2.1.2 Scannere 3D terestre

În cazul sistemelor terestre, scannerul este montat fie pe un vehicul, precum în cazul mașinilor autonome, fie pe un trepied sau un alt tip de suport incorporat în structura acestuia. În comparație cu scannerele aeropurtate, scannerele terestre sunt capabile să capteze mult mai multe detalii privind forma obiectelor, generând nori de puncte mult mai denși. Scanările se pot efectua din diferite unghiuri, iar o scanare captează punctele din plan orizontal și vertical [2][23][24].

Scannerele 3D terestre se împart la rândul lor, în funcție de tipul de LiDAR utilizat, în două subcategorii și anume sisteme mobile și sisteme statice [23][24].



Fig. 2.2. Scannere 3D terestre cu trepied (stânga) și cu bază incorporată (dreapta) [26][27].

Sistemele mobile sunt foarte des întâlnite în cazul mașinilor autonome, dar se pot regăsi și pe trenuri sau chiar bărci și vapoare, în funcție de localizarea obiectului sau spațiului ce trebuie scanat. Aceste sisteme sunt în general utilizate pentru analiza drumurilor, semnelor de circulație, liniilor de căi ferate și liniilor de înaltă tensiune. Asemănător scannerelor 3D aeropurtate, alături de sistemele mobile, sunt necesare un GPS și un sistem de referință inerțial, pentru a se putea obține norul de puncte [23][24].

Sistemele statice sunt montate în general pe trepied sau alt tip de bază incorporată în construcția scannerului. Acestea sunt utilizate în general pentru scanarea spațiului înconjurător precum încăperile și holurile unei clădiri, alei, străzi, mine, situri arheologice, dar și pentru scanarea obiectelor de dimensiuni reduse [23][24].

2.1.3 Scannere 3D portabile

Scannerele 3D portabile sunt mai complexe în comparație cu celelalte două tipuri, deoarece utilizatorul are posibilitatea de a îndrepta, deplasa și roti dispozitivul în orice direcție dorește. Funcționarea acestui tip de scanner are la bază un sistem de referință ce urmărește deplasarea și rotirea dispozitivului pe toate cele șase grade de libertate, cu ajutorul căruia

sistemul cunoaște întotdeauna poziția scannerului și orientarea acestuia. Coordonatele punctelor scanate sunt stabilite în funcție de acest sistem de referință [2].



Fig. 2.3. Scanner portabil model Artec Eva Lite [28]

2.2 Aplicații ale scannerelor 3D

Scannerele 3D cu laser au numeroase domenii de aplicabilitate, precum: industrial, arhitectural, arheologic, stomatologic, topografie urbană, minerit, inginerie inversă, și inspecție mecanică. Scanarea 3D cu laser oferă o rezoluție mare a modelului scanat și o digitalizare mult mai rapidă a acestuia în comparație cu tehniciile și tehnologiile metrologice convenționale [2][4].

În continuare sunt prezentate pe larg câteva domenii de aplicabilitate ale scannerelor 3D cu laser.

Producția și procesarea materialelor

Există câteva aplicații ale scannerelor 3D cu laser ce diferă, în mare, doar din punct de vedere al puterii laserului utilizat și al rezultatelor scanării. Laserele de putere mică sunt utilizate pentru scanarea suprafețelor ce nu trebuie modificate, precum realizarea unui model 3D al unui obiect, sau analizarea rugozităților unei suprafețe. În situația în care suprafața trebuie modificată, se utilizează lasere de putere medie sau mare, în funcție de rezultatul dorit. Laserele de putere medie sunt utilizate pentru gravare, caz în care se îndepărtează doar o parte din materialul suprafeței. În cazul laserelor cu putere mare materialul devine fluid, fiind posibilă sudarea acestuia, sau, dacă puterea este suficient de mare, materialul poate fi tăiat [2][4].

Construcții civile și infrastructură [2][4].

- Controlul unui robot. Spre exemplu, scannerul poate funcționa pe post de „ochi” al robotului;
- Reproducerea unor scheme și desene pe baza construcțiilor deja existente;
- Modelarea și reproducerea unor împrejurări, relevări de interior;
- Modelare urbană;
- Verificarea construcțiilor, controlul calității, restaurări;
- Crearea unui design nou pentru drumuri și autostrăzi;
- Monitorizarea stării unor construcții și a nivelului de degradare, pentru detectarea schimbărilor structurale rezultate în urma unor evenimente precum cutremur, incendiu, supraîncărcare;
- Cartografiere, măsurări topografice.

Divertisment

Scannerele 3D sunt utilizate în domeniul divertismentului pentru crearea de modele digitale 3D atât pentru filme cât și pentru jocuri video. În cazul în care există deja echivalentul fizic al obiectului dorit, este mult mai rapidă scanarea obiectului respectiv, decât crearea acestuia utilizând programare de modelare 3D. Deseori, artiștii preferă să realizeze fizic obiectul dorit și apoi să-l scaneze, decât să creeze modelul 3D pe calculator [2][4].

Mecanică și Inginerie inversă

Ingineria inversă, sau ingineria de reconstrucție, reprezintă abilitatea de a reproduce forma unui obiect deja existent. Aceasta se bazează pe crearea unei versiuni digitalizate a obiectelor sau suprafețelor, care ulterior pot fi transformate în mătrițe. Este un proces foarte cunoscut, având aplicații în diferite domenii.

Ingineria inversă a unei componente mecanice necesită un model digital exact al unui obiect pentru ca acesta să poată fi reprodus. Un model digital exact poate fi reprezentat printr-o rețea de discretizare, un set de suprafețe plane sau curbate, sau un model CAD, caz ideal pentru componente mecanice. Un scanner 3D poate fi utilizat pentru digitalizarea componentelor cu suprafețe atât neregulate cât și cu suprafețe prismatice. Norul de puncte obținut în urma scanării este apoi procesat pentru crearea unui model digital utilizabil [2][4].

Patrimoniu cultural

Pentru conservarea și restaurarea patrimoniului cultural, este necesar un dispozitiv de scanare cu acuratețe sporită. Tehnologiile LiDAR oferă date mult mai ușor obținute și mult mai precise decât datele obținute utilizând tehnologii tradiționale. În plus, norul de puncte obținut poate fi procesat în numeroase programe software pentru a fi convertit într-un fișier CAD, hărți, modele 3D sau chiar animații [2][4].

Mai jos sunt prezentate două exemple asociate acestui domeniu de aplicabilitate [29].

1. Stătuile lui Michelangelo: În acest caz, s-a căutat o metodă de reprezentare, vizualizare, aliniere și împreunare a unor nori de puncte de mari dimensiuni. Astfel, s-a folosit un sistem de digitalizare realizat dintr-un scanner laser ce utiliza metoda triangulației. În urma scanării sculpturilor „David”, „Prigioni” și a celor patru statui din Capela di Medici, norul de puncte obținut avea o dimensiune de peste 30Gb.
2. Podul Guyue: Deși se afla într-o stare de deteriorare avansată, fiind expus mediului, experții au reușit să creeze modele 3D ale acestuia folosind și dovezi istorice. Modelele au fost realizate cu ajutorul unui scanner 3D cu laser, iar pe baza acestora, experții pot acum să analizeze situl arheologic creat pentru aflarea dimensiunilor reale ale podului și forma acestuia, întrucât podul a fost construit în perioada de trecere de la grinzi drepte la arcade.

Medical

Scannerele 3D sunt utilizate în domeniul ortopediei sau stomatologiei pentru realizarea modelului 3D a unor părți ale corpului pacienților. După obținerea modelului 3D, sunt utilizate programe software CAD sau CAM pentru crearea de orteze, proteze sau implanturi dentare [2][4].

Judiciar [4][30].

Scannerele 3D sunt utilizate de forțele de ordine în situații precum:

- Investigația scenelor crimelor;
- Traекторia gloanțelor;
- Analiza tiparului petelor de sânge;
- Reconstrucția accidentelor;
- Zonele de prăbușire ale avioanelor;

2.3 Aplicații ale LiDAR-elor

LiDAR-ul reprezintă un senzor ideal atunci când vine vorba de „observarea” obiectelor, deoarece laserul utilizat are lungimi de undă apropiate de cele pe care ochiul e obișnuit să le vadă. Acesta are numeroase aplicații atât în domeniul militar cât și în domeniul civil, fiind utilizat în special în scopul cercetării, în analiza solului și atmosferei și în meteorologie [2][31].

În continuare sunt prezentate câteva domenii de aplicabilitate ale senzorilor LiDAR.

Agricultură

Senzorii LiDAR pot fi utilizați pentru a-i ajuta pe fermieri să găsească modalitatea cea mai ușoară de împrăștiere a îngrășământului sau pentru a analiza terenul arabil. LiDAR-ul poate crea o structură topologică a câmpului, care să evidențieze înclinația solului, rugozitatea suprafeței acestuia și expunerea acestuia la lumina soarelui. Această metodă le este utilă fermierilor deoarece le indică zonele în care trebuie aplicat îngrășământ astfel încât să obțină rezultate maxime și permit analiza performanței utilajelor de arat [2][32].

Biologie

LiDAR-urile sunt utilizate tot mai des în analiza forestieră. Înălțimea bolților copacilor, măsurători în ceea ce privește biomasa și dimensiunile frunzelor sunt doar câteva dintre aplicațiile în care se utilizează aceste dispozitive. În mod similar, cu ajutorul LiDAR se pot obține și informațiile privind variabilitatea fenotipică a frunzelor copacilor și plantelor. După scanare, se pot realiza modele 3D ale acestora datorită acurateței și rezoluției ridicate ale senzorului [2][33][34][35].

Medical

În domeniul medical, este utilizat un sistem LiDAR pentru detectarea prezenței unor corpuri precum tumorile cancerioase, prin detectarea semnalelor reflectate de pe țesut. De obicei sursa laser emite radiații dintr-un anumit unghi, iar LiDAR-ul captează aceste radiații împrăștiate pentru a reproduce o imagine a țesutului uman [31][36].

Meteorologie și atmosferă

Sistemele LiDAR sunt utilizate pentru măsurarea vitezei vântului, studierea compoziției atmosferice, detectarea urmelor de ozon, dioxid de carbon sau vaporii de apă, dar și pentru analiza norilor și aerosolilor [2][37].

Robotica

Tehnologia LiDAR este utilizată în domeniul roboticii pentru analiza mediului înconjurător al robotilor. Senzorii LiDAR sunt utilizați pentru clasificarea obiectelor, evitarea obstacolelor în cazul robotilor mobili și pentru realizarea de hărți sau modele 3D a împrejurimilor. Această variantă este dorită mai ales în cazurile în care accesul oamenilor în zonele de interes este imposibil sau dacă zona de interes prezintă riscuri pentru oameni [2][38].

Transport

Evoluția mașinilor autonome aduce cu sine nevoie unui sistem pe baza căruia mașina să poată circula fără intervenția utilizatorului. Un sistem LiDAR ajută mașina în analiza împrejurimilor și în recunoașterea și urmărirea obiectelor din jur, astfel încât aceasta să poată lua decizii privind viteza și direcția de deplasare [39].

Tot în domeniul transporturilor, sistemele LiDAR sunt utilizate și pentru analiza parametrilor geometrici ai drumurilor. Această analiză este utilă pentru evaluarea poluării traficului, siguranței în trafic și optimizarea transporturilor [40].

2.4 Avantaje și dezavantaje ale scanării laser 3D

În tabelul următor sunt prezentate principalele avantaje și dezavantaje pe care utilizatorul trebuie să le aibă în vedere atunci când alege tehnologia de scanare.

Tab. 2.1 – Avantaje și dezavantaje ale scanării laser 3D [41][42][43]

Avantaje	Dezavantaje
Utilizabilă atât în scanarea 3D cât și în scanarea 2D	În unele cazuri, lumina soarelui sau ploaia introduc erori în măsurătorile efectuate
Scanarea rapidă a milioane de puncte în câteva secunde – reduce orele pe teren ale utilizatorului	Volumele mari de date necesită capacitate ridicată de procesare a calculatoarelor pe care sunt analizate acestea
Utilizatorul evită zonele ce prezintă un potențial pericol, dar și zonele greu accesibile	Este imposibilă scanarea unor suprafețe din afara câmpului vizual al scannerului – uneori sunt necesare repoziționarea dispozitivului și scanări multiple
Scanarea laser 3D este în continuă dezvoltare	Devine dificil pentru utilizator să rămână în permanență la curent cu ultimele descoperiri

	și inovații în acest domeniu
Dispozitivele performante au o acuratețe ridicată	Costul acestor dispozitive variază între mii și zeci de mii de dolari americani
Datele sunt colectate fără ca dispozitivul să intre în contact fizic cu suprafețele scanate – nu apare pericolul deteriorării suprafețelor fragile	Apar erori în citirea datelor dacă în mediul în care se află scannerul există foarte multe impurități sau dacă unghiul de incidență al laserului este foarte mare. De asemenea, pot apărea erori și în cazurile în care laserul lovește suprafețe precum sticlă sau oglinda.

Capitol 3. MATERIALE ȘI METODE UTILIZATE

3.1 Componente hardware

În realizarea scannerului, pentru alegerea componentelor s-a urmărit obținerea unor rezultate cât mai bune, păstrând în același timp costul total al ansamblului cât mai mic. Astfel, au fost alese componentele prezentate în cele ce urmează.

3.1.1 Placă de dezvoltare Arduino Uno

Arduino Uno (figura 3.1) este o placă de dezvoltare cu aplicabilitate în numeroase proiecte, indiferent de complexitatea acestora. Are la bază microcontrolerul ATmega328P, iar în ceea ce privește pinii disponibili, 14 sunt digitali utilizați pentru porturile de intrare/ieșire, dintre care 6 pot fi utilizați ca ieșiri PWM și 6 pini pentru intrări analogice. Memoria disponibilă pentru instrucțiunile programului este de 30Kb. Alți 2Kb sunt ocupați de boot-loader, care, după cum sugerează și numele, inițiază placa la momentul alimentării. Alimentarea se face la minim 5V utilizând mufa USB-B, mufa jack de alimentare, sau pinul V_{in} de pe plăcuță. Programarea plăcuței se face utilizând limbajul de programare Arduino și programul software Arduino IDE, iar comunicația dintre aceasta și calculator se realizează prin cablu USB [44].

Scopul acestei plăcuțe este de a comanda motorul pas cu pas (prin intermediul driverului), servomotorul și LiDAR-ul, de a converti coordonatele sferice (r, θ, ϕ) ale punctelor scanate în coordonate carteziene (x, y, z) și de a le trimite la calculator.

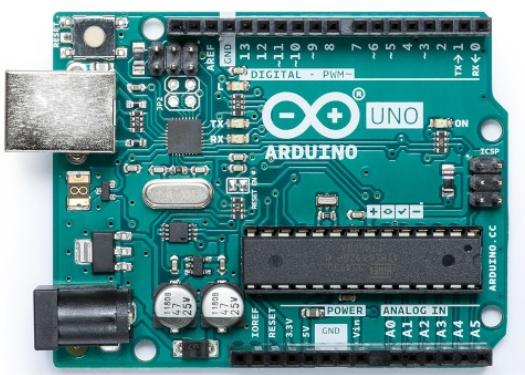


Fig. 3.1. Placă de dezvoltare Arduino Uno [44]

3.1.2 „Scut” de prototipare

„Scutul” pentru crearea de prototipuri (figura 3.2) este un modul expandor creat special pentru modelul Uno, extinzând majoritatea pinilor de pe placa de dezvoltare. Acesta oferă posibilitatea conectării altor componente electrice precum rezistențe, condensatoare, LED-uri, butoane, mufe, socluri sau chiar și SMD-uri, fie utilizând conectorii mamă Dupont, fie lipind componentele respective direct pe modul. Modulul expandor pune la dispoziția utilizatorilor două butoane, două LED-uri, două rezistențe, iar placa este prevăzută cu găuri special pregătite pentru lipirea conductoarelor sau componentelor și cu circuite ce facilitează alimentarea acestora (5V, GND).

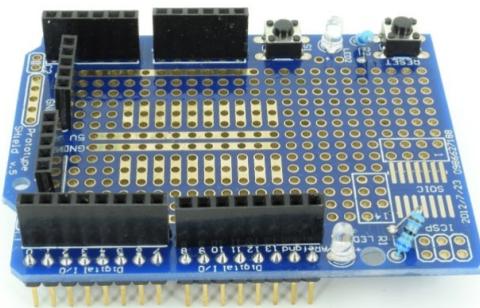


Fig. 3.2. “Scut” pentru crearea de prototipuri [45]

3.1.3 Garmin LiDAR Lite V3

Garmin LiDAR Lite V3 (figura 3.3) este un senzor LiDAR (Light Detection and Ranging) ce utilizează metoda Time-Of-Flight (Timp de zbor) pentru măsurarea distanței. Acesta emite o radiație laser către un obiect țintă, radiația se reflectă de pe suprafața obiectului și este captată de receiver-ul senzorului. Dacă radiația captată este identică celei transmise, LiDAR-ul returnează valoarea distanței măsurate. Cunoscând viteza luminii, timpul de zbor al radiației și ținând cont de faptul că timpul măsurat este pentru traseul dus-întors al radiației, distanța de la senzor la obiectul țintă se calculează cu relația (1.2).

LiDAR-ul are dimensiuni reduse, potrivite pentru structura scannerului realizat în această lucrare. Trebuie alimentat cu 5V recomandat și consumă 135mA la funcționare continuă, ceea ce îl face compatibil cu placa de dezvoltare Arduino Uno, aceasta fiind capabilă să genereze energia necesară. Utilizează un laser clasa 1, care nu este periculos pentru ochiul liber, cu o lungime de undă nominală 905nm.

Din punct de vedere al performanței, acest model de LiDAR are capacitatea de a măsura până la o distanță de aproximativ 40 metri, în funcție de condițiile mediului în care se află și are o rezoluție de $\pm 1\text{cm}$.

Poate fi comandat prin interfața I2C sau PWM. În cazul interfeței I2C, utilizatorul poate modifica regiștrii pentru a stabili diferiți parametri, precum adresa dispozitivului sau frecvența măsurătorilor. Comunicația poate ajunge la viteze de până la 400kbit/s. În cazul comenzi LiDAR-ului prin PWM, durata de lucru a semnalului returnat de senzor este proporțională cu distanța măsurată după următoarea lege: $10\mu\text{s}/\text{cm}$ [46].



Fig 3.3. Garmin LiDAR Lite V3 [46]

3.1.4 Motor pas cu pas

A fost ales motor de tip pas cu pas (figura 3.4) deoarece acesta împarte o rotație completă într-un anumit număr de pași. Astfel, acesta oferă posibilitatea rotirii 360° a scannerului, cu precizie ridicată. Motorul pas cu pas (MPP) ales este model SM-42BYG011-25, bipolar, hibrid, cu dimensiuni ce respectă standardul NEMA 17.

Acest motor necesită alimentare de 12V iar curentul maxim pe o înfășurare este de 0,35A, are 200 de pași pe revoluție, acuratețea pasului fiind de aproximativ 5%, echivalentul a $1,8^\circ$ pentru fiecare pas efectuat, dar există posibilitatea micșorării pasului, cu ajutorul unui driver. Scopul acestui motor este de a roti ansamblul în jurul axei propriei, obținându-se astfel girotația scannerului.



Fig. 3.4. Motor pas cu pas model SM-42BYG011-25 [47]

3.1.5 Driver A4988

Driver-ul A4988 (figura 3.5) este utilizat pentru comanda motorului pas cu pas prezentat anterior. Acesta permite alimentarea motorului pas cu pas între 8V și 35V și generează până la 2A pe înfășurare, cu răcire forțată. Acesta oferă cinci opțiuni de micro pășire: pas întreg, jumătate de pas, sfert de pas, optime de pas, și însprezecime de pas (3200 pași pe revoluție). Tot cu ajutorul acestui driver se impune și sensul de rotație al MPP [48].

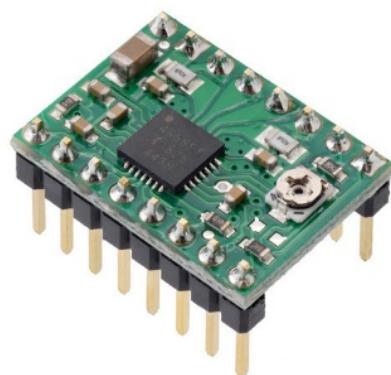


Fig. 3.5. Driver A4988 [48]

Pentru modificarea poziției axului motorului pas cu pas, driverul modifică valoarea intensității curentului pe cele două înfășurări ale MPP. Tehnica utilizată de acest driver pentru variația controlată a curentului este modulația în impuls (PWM).

Înainte de punerea în funcțiune, este foarte important să se seteze limita de curent generată de driver pe înfășurările motorului, pentru a nu pune în pericol cele două componente.

Stabilirea limitei de curent se face prin calcularea și setarea unei tensiuni de referință printr-un potențiometru, după următoarea formulă.

$$V_{ref} = I_{max} * 8 * R_s \quad (3.1)$$

unde:

- V_{ref} reprezintă tensiunea de referință ce trebuie setată;
- I_{max} reprezintă valoarea maximă a intensității curentului electric prin fiecare infășurare a MPP;
- R_s reprezintă valoarea rezistenței electrice pe sens a driverului.

3.1.6 Inel rotitor

Inelul rotitor (figura 3.6) are rolul de a asigura continuitatea circuitului electric dintre componenta fixă și componenta mobilă prin intermediul unor contacte alunecătoare cu perii. Acesta realizează legătura de la LiDAR și servomotor (ansamblu ce se învârte) la scutul de prototipare (componentă fixă), asigurând astfel transmisia de date și alimentarea.



Fig. 3.6. Inel rotitor SRC022-6 [49]

3.1.7 Servomotor

A fost ales un servomotor (figura 3.7) deoarece acest tip de motor este capabil să efectueze rotații parțiale ale axului cu precizie ridicată. În acest sistem, servomotorul are rolul de a roti scannerul din poziția verticală (0°) până sub linia orizontului (130°). Astfel, acesta se rotește cu pas de un grad după fiecare rotație completă a MPP. Prin intermediul acestui motor se obține tangajul scannerului [50].



Fig. 3.7. Servomotor SG90 [51]

3.1.8 Sursa de alimentare

Sursa de alimentare (figura 3.8) are scopul de a furniza energie motorului pas cu pas, atunci când sistemul funcționează pe o platformă staționară sau când se află în perioada de testare. Aceasta oferă la ieșire o tensiune continuă de 12V.

În cazul în care scannerul funcționează pe o platformă mobilă, sistemul poate fi alimentat de la un set de acumulatori, ce trebuie să asigure o tensiune de 12V, prezenti pe platforma respectivă.



Fig. 3.8. Sursă de alimentare 12V

3.1.9 Piese de bază pentru îmbinarea componentelor

Pentru îmbinarea scannerului propriu-zis, a fost necesară realizarea unor piese 3D (figura 3.9). Pentru desenarea acestora a fost utilizat programul Fusion 360, urmând apoi să fie realizate fizic, cu ajutorul unei imprimante 3D.

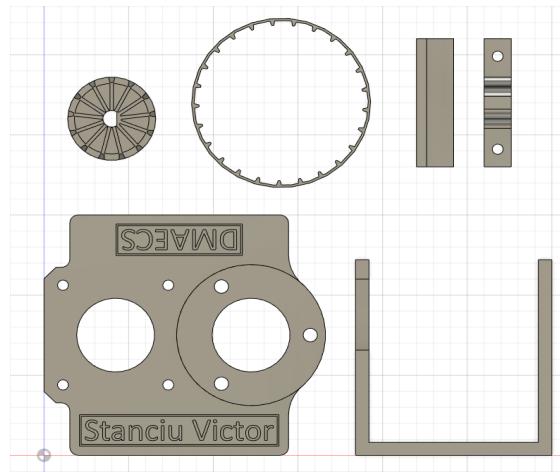


Fig. 3.9. Piese 3D desenate pentru îmbinarea tuturor componentelor

Pentru a oferi utilizatorului posibilitatea de folosi scannerul atât într-un punct fix, cât și pe o platformă mobilă, s-au construit o bază care să fixeze scannerul de platforma mobilă și o bază fixă, de testare, deașabilă. Acestea au fost construite utilizând plexiglas, tablă perforată, distanțatoare, cleme de prindere și un profil de aluminiu.

3.1.10 Alte componente

Pe lângă componentele principale prezentate anterior, s-au mai utilizat și:

- rezistențe electrice;
- condensatoare $1000\mu F/25V$, $100\mu F/50V$;
- LED-uri 5mm;
- mufe tip NS25-G6 , NS25-G4
- șuruburi tip M3 și M4;
- tijă de aluminiu filetată M3;
- piulițe;
- holșuruburi;
- sisteme de prindere.

Cunoscând faptul că LED-urile au o cădere de tensiune în conducție directă de 2V și sunt parcurse de un curent de 20mA și ca tensiunile de alimentare sunt 12V și respectiv 5V, valorile rezistențelor se calculează astfel:

$$U_{alim} - U_{LED} = R * I_{LED} \rightarrow R = \frac{U_{alim} - U_{LED}}{I_{LED}} \quad (3.2)$$

unde:

- U_{alim} reprezintă valoarea tensiunii de alimentare;
- U_{LED} reprezintă valoarea căderii de tensiune pe LED în conducție directă;
- R reprezintă valoarea rezistenței electrice ce trebuie inserată cu LED-ul;
- I_{LED} reprezintă valoarea intensității curentului electric ce parcurge LED-ul.

3.2 Componente software

3.2.1 Arduino IDE

Mediul de programare Arduino IDE (Integrated Development Environment) este un program software de tip sursă deschisă având la bază programul software Processing. Acesta este utilizat pentru scrierea, compilarea și încărcarea programelor pe plăcile de dezvoltare Arduino, limbajul de programare utilizat având la bază limbajul C++. Interfața grafică (figura 3.10) pune la dispoziția utilizatorului un editor de text pentru scrierea codului, o consolă pentru afișarea mesajelor, o bară de funcții comune și bara de meniu. Pentru programarea unei plăcuțe de dezvoltare, este necesar ca utilizatorul să selecteze mai întâi tipul plăcuței Arduino ce urmează a fi programată și portul USB al calculatorului la care aceasta este conectată.

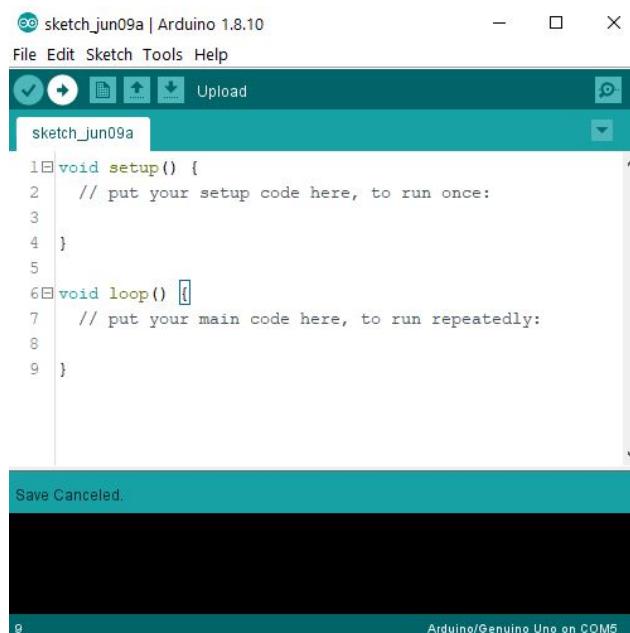


Fig. 3.10. Arduino IDE – interfața grafică

După efectuarea acestor setări, utilizatorul poate continua cu scrierea codului în editorul de text. Pentru simplificarea codului dar și pentru o mai bună funcționalitate, utilizatorii au opțiunea de a crea sau încărca diverse librării [44].

3.2.2 Programul Arduino pentru scanare 3D

Structura codului (vezi Anexa 1) este împărțită în patru părți principale și anume:

- includerea librăriilor speciale *<SoftwareServo.h>* pentru comanda servomotorului și *<Wire.h>*, *<LIDARLite.h>* pentru comunicația cu LiDAR, definirea obiectelor *servo* și *myLidarLite* și a variabilelor și constantelor globale ce nu-și vor modifica valorile pe parcurs;
- funcția *void setup()*, care este parcursă o singură dată și are rolul de a inițializa comunicația serială și pinii utilizați și pentru a stabili anumiți parametrii;
- funcții create de utilizator: *void calculate_angles()*, *void move_stepper()*, *void move_servo()*, *void stop_scan()*, prin care se calculează unghiurile celor două motoare, comandă rotirea motorului pas cu pas, comandă rotirea servomotorului, oprește sistemul la după finalizarea scanării;
- funcția *void loop()*, care este parcursă continuu și în care sunt apelate funcțiile create de utilizator și în care se comandă efectuarea măsurătorilor și transmiterea datelor la portul USB al calculatorului.

3.2.3 Processing 3

Mediul de programare Processing este un program software tip sursă deschisă, creat inițial pentru comunitatea artiștilor pasionați de programare. Acesta este utilizat pentru scrierea programelor ce generează efecte vizuale și animații 2D sau 3D. Limbajul de programare implicit este bazat pe Java, dar există posibilitatea ca utilizatorul să modifice această setare. Interfața grafică (figura 3.11) pune la dispoziția utilizatorului un editor de text pentru scrierea codului, o consolă pentru afișarea mesajelor, o bară de funcții comune și bara de meniu. Fiind orientat către aspectul grafic al aplicațiilor, utilizatorii pot crea cu ușurință programe care să afișeze forme, să redea melodii, videoclipuri, să urmărească mișcările mouse-ului sau caracterele introduse de la tastatură [52].

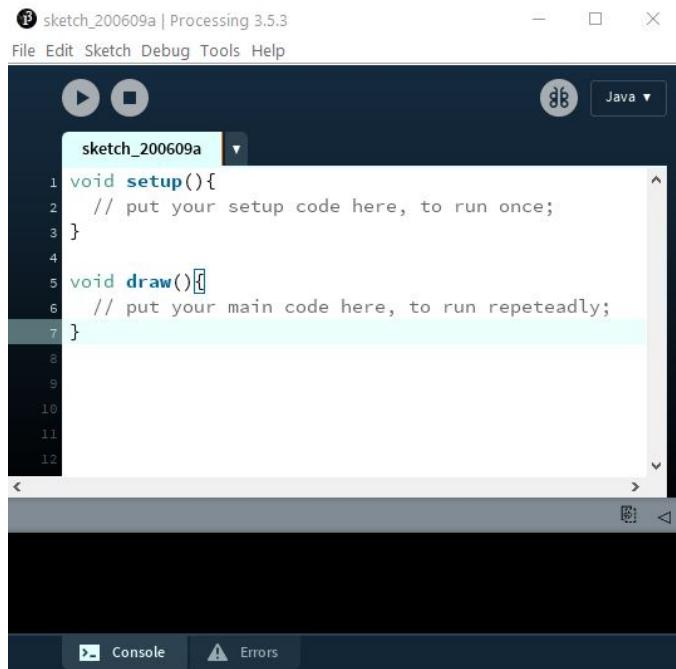


Fig. 3.11. Processing 3 – interfața grafică

Asemănător programului Arduino IDE, codul programului dezvoltat în Processing (vezi Anexa 2) este împărțit în trei părți principale:

- includerea librăriilor speciale și definirea unor obiecte, variabile și constante globale ce nu-și vor modifica valorile pe parcurs;
- funcția *void setup()*, executată o singură dată, la începutul rulării programului. Aici se stabilesc detalii precum mărimea ferestrei generate de program, formele obiectelor, etc.;
- funcția *void draw()*, executată continuu. Această parte conține instrucțiunile programului.

3.2.4 CoolTerm

CoolTerm [53]. (figura 3.12) este o aplicație cu ajutorul căreia utilizatorul poate citi/trimit date de la/către un port serial. Această aplicație oferă posibilitatea utilizatorului de a alege portul serial la care să se conecteze, rata de transmisie a datelor, numărul bițiilor de date, paritatea și numărul bițiilor de stop. Mai mult, utilizatorul are numeroase alte opțiuni cu privire la terminal, modul de trimitere și primire al datelor și fontul textului afișat pe care le poate modifica în funcție de necesități. Una dintre acestea și foarte importantă este cea de a salva datele primite la portul serial.

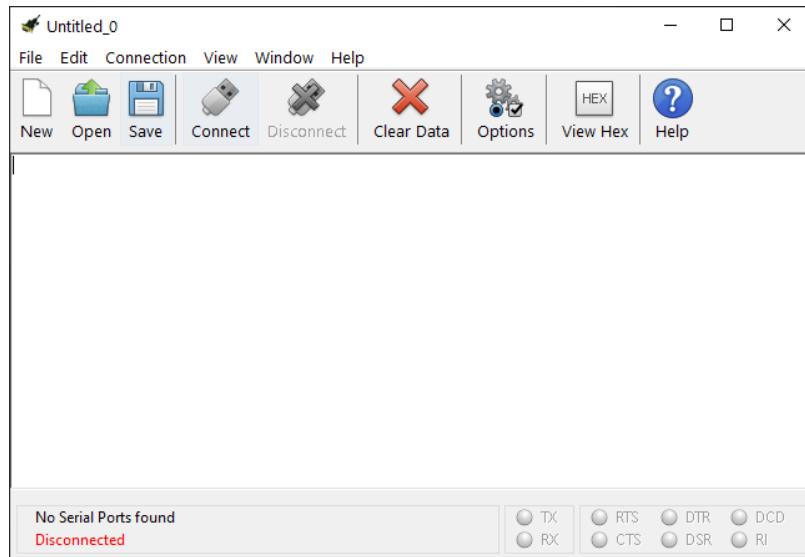


Fig. 3.12. CoolTerm

3.2.5 CloudCompare

CloudCompare (figura 3.13) este un program software de tip sursă deschisă creat special pentru procesarea norilor de puncte 3D. Acest program pune la dispoziția utilizatorului unelte și funcții de bază, dar și algoritmi avansați de procesare pentru segmentare, calcularea distanței dintre puncte, statistică, proiecții și desfășurări ale norilor, netezire suprafețe. Utilizatorul poate cu ușurință să segmenteze norul de puncte, să rotească și să deplaseze norul de puncte, sau să selecteze punctele pe care le dorește [54].

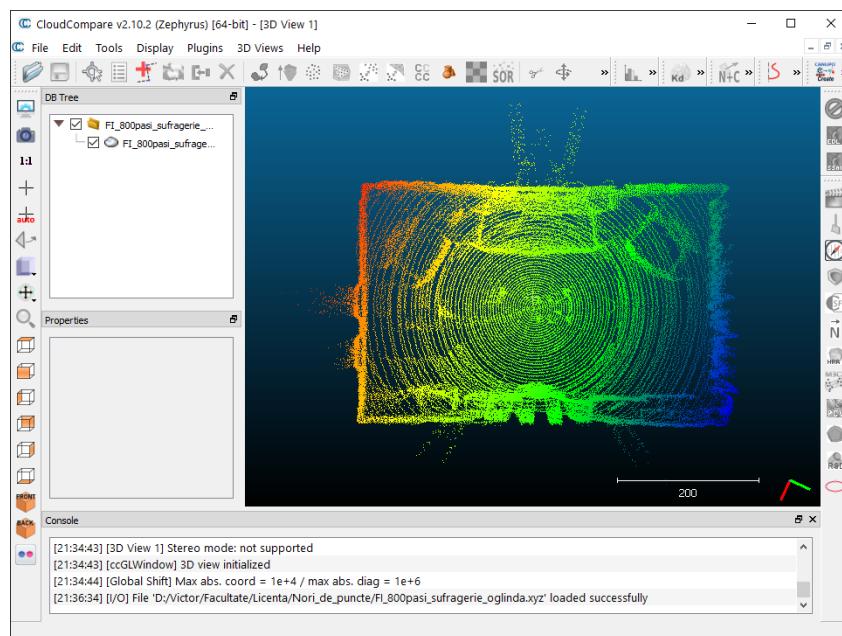


Fig. 3.13 CloudCompare

3.3 Metode

3.3.1 Realizarea scannerului

Structura completă a sistemului prezentat în această lucrare conține 3 componente principale. În continuare sunt detaliate metodele de realizare ale acestora.

3.3.1.1 Piese 3D

Desenarea pieselor 3D în programul Fusion 360 este relativ simplă, în general fiind nevoie doar de crearea unor schițe ce reprezintă vederea din laterală a piesei respective, utilizând opțiunea *Create sketch*. După crearea schițelor, folosind opțiunea *Extrude* a programului și selectând suprafețele care se doresc a fi ridicate, se realizează un model 3D de bază al piesei. Pentru modificarea în continuare a acestei piese în vederea obținerii formei finale, se pot crea alte schițe, pe oricare dintre suprafețele piesei. În final, se pot rotunji unele muchii ale pieselor, pentru a crește rezistența acestora. În figura 3.14 sunt prezentate etapele parcuse pentru crearea uneia dintre piesele simple folosite.

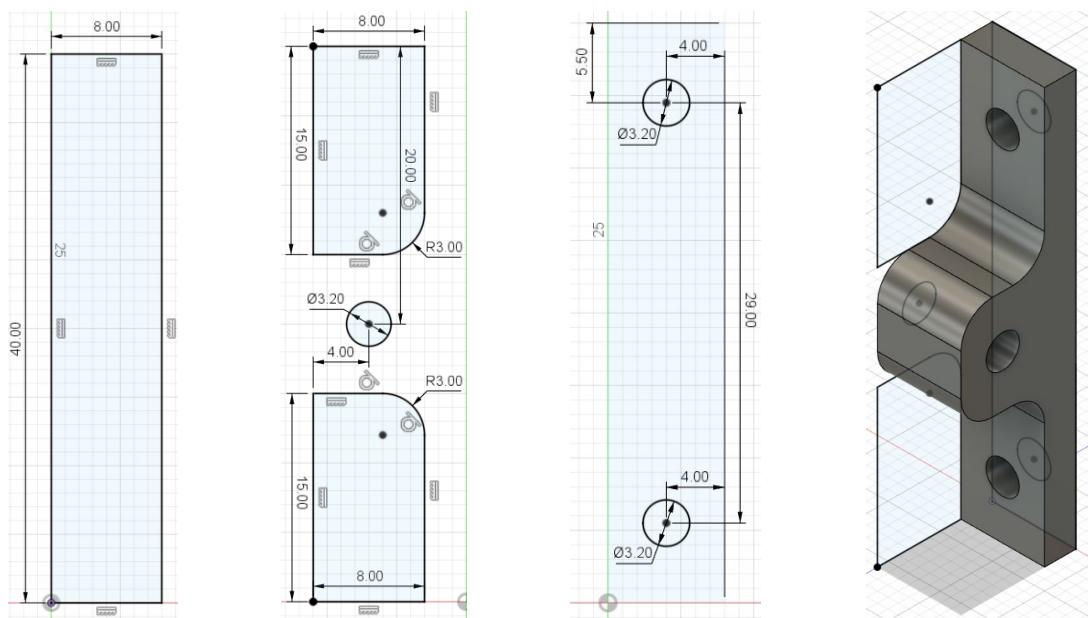


Fig. 3.14. De la dreapta la stânga: schiță de bază pentru crearea blocului, schiță laterală pentru eliminarea surplusului, schiță pentru crearea găurilor, model 3D final alături de schițele utilizate

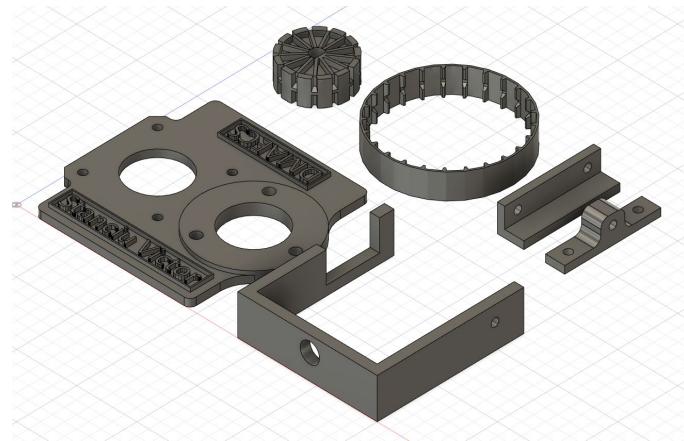


Fig. 3.15. Piese 3D desenate

După desenarea tuturor pieselor necesare, acestea se pot exporta în calculator ca modele solide, sub forma unui fișier .f3d, .obj, .stl, etc..

În ceea ce privește realizarea fizică a pieselor, s-a folosit o imprimantă 3D WANHAO, programul software Simplify 3D și material PLA albastru, roșu și NinjaFlex roșu (figura 3.16). Pentru acest proces, imprimanta trebuie pregătită, fiind necesare setări de temperatură a capului de extrudare ($190\text{-}220^{\circ}\text{C}$) și a platformei pe care se imprimă ($55\text{-}70^{\circ}$).



Fig. 3.16. Imprimarea pieselor 3D

3.3.1.2 „Scut” de prototipare final

Pe modulul de expansiune (figura 3.17) au fost lipite următoarele componente:

- Un soclu în care a fost introdus driverul A4988;
- Mufa de alimentare cu 12V de la sursă;
- Martori optici (LED-uri) care să semnalizeze alimentarea driverului și a plăcii de dezvoltare;

- Două mufe: una pentru cele două înfăşurări ale motorului pas cu pas (MPP) și una pentru alimentarea și comanda servomotorului și LiDAR-ului;
- Două condensatoare pentru protecția driverului și a LiDAR-ului;

După lipirea tuturor componentelor, s-au realizat conexiunile dintre pinii extinși ai placii de dezvoltare, driver și servomotor și la LiDAR (prin intermediul mufelor).

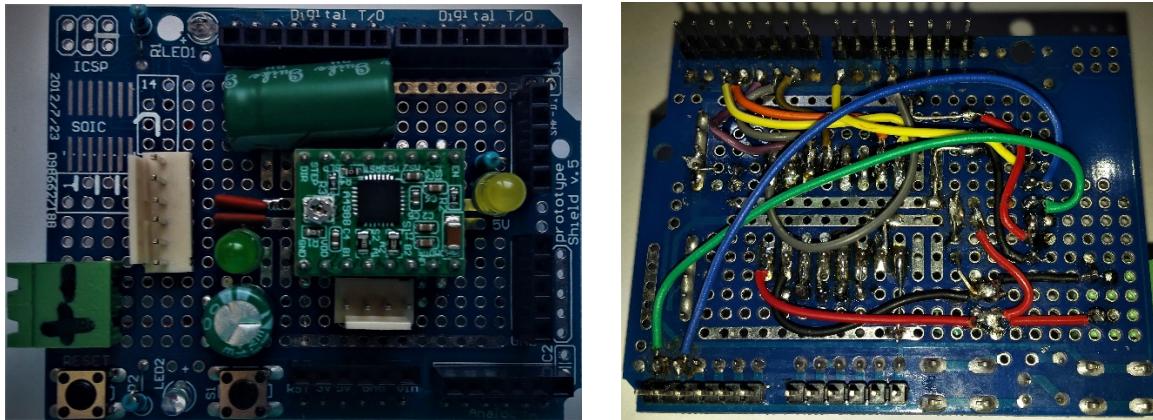


Fig. 3.17. Forma finală a „scutului”

3.3.1.3 Baza pentru montare pe platformă mobilă

Această componentă (figura 3.18) a fost realizată prin tăierea și prinderea a două piese de plexiglas transparent. Pentru a oferi un loc de montare a plăcuței Arduino și a modulului expandor, cele două piese de plexiglas au fost prinse cu ajutorul unor distanțătoare și tije filetate tip M3, iar pentru a oferi posibilitatea unui cablaj ușor între placa Arduino și celelalte componente, prima placă de plexiglas a fost găurită. Scannerul propriu-zis a fost montat pe această bază tot cu ajutorul unor tije filetate tip M3, iar pentru prinderea de platformă mobilă s-au utilizat două cleme de prindere și un profil de aluminiu pentru o mai bună fixare.

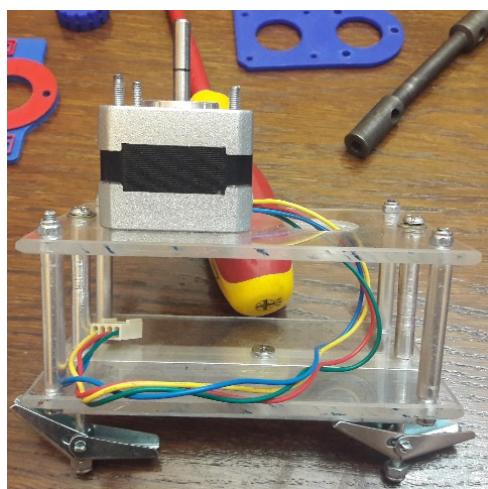


Fig. 3.18. Baza pentru fixarea pe platformă mobilă

3.3.1.4 Baza fixă pentru testare

A fost necesară realizarea acestei componente (figura 3.19) întrucât clemele de prindere ale sistemului nu permit acestuia să își păstreze o poziție stabilă. Această componentă a fost realizată prin prinderea a două plăci de metal ce constituie baza întregului sistem, prinderea a două plăci de aluminiu, îndoite la 90° și a două profile de aluminiu pentru fixarea sistemului. Toate prinderile au fost realizate cu nituri, pentru a fi asigurată stabilitatea și rigiditatea întregului sistem.



Fig. 3.19. Baza fixă pentru testare

3.3.1.5 Scannerul final

După îmbinarea tuturor pieselor prezentate anterior, sistemul de scanare 3D este adus la forma finală (figura 3.20). Figura 3.21 prezintă scannerul montat pe platforma mobilă, în timpul funcționării.

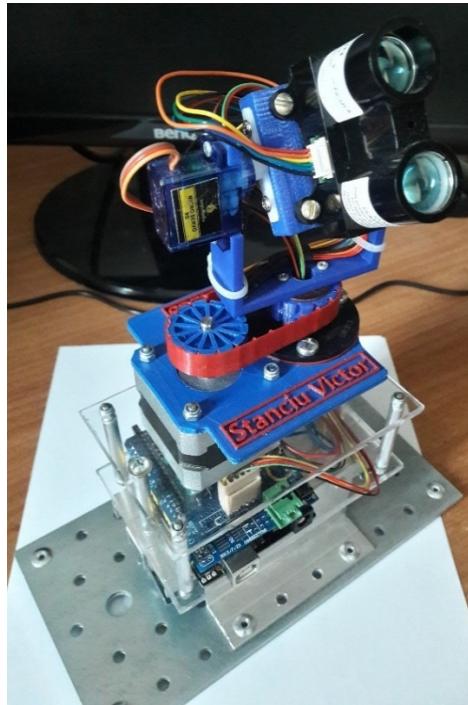


Fig. 3.20 Forma finală a scannerului 3D

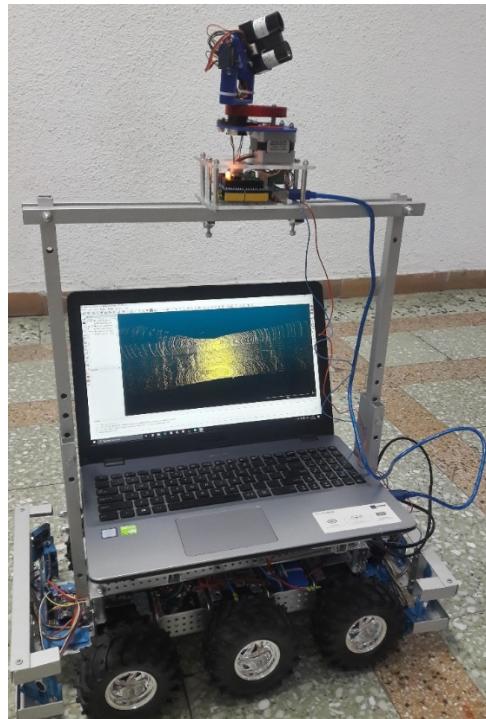


Fig. 3.21 Scannerul montat pe platforma mobilă

3.3.2 Modul de funcționare și punere în funcțiune

3.3.2.1 Modul de funcționare

Pentru ca sistemul să poată îndeplini pe deplin funcția de scanare 3D, fiecare componentă trebuie să își îndeplinească scopul. În continuare este descris modul de funcționare a întregului sistem.

1. După inițializarea tuturor variabilelor, porturilor și a comunicațiilor, placa de dezvoltare Arduino Uno calculează unghiurile θ și φ ale punctului ce urmează să fie scanat, bazându-se pe pozițiile celor două motoare.
2. După aflarea celor două unghiuri, LiDAR-ul efectuează un set de măsurători apoi returnează valoarea medie a distanței calculate, r . Astfel, se obține setul de coordonate sferice ale punctului scanat (r, θ, φ).
3. Coordonatele sferice sunt apoi transformate în coordonate carteziene (x, y, z) cu ajutorul relației (3.3) (figura 3.22).

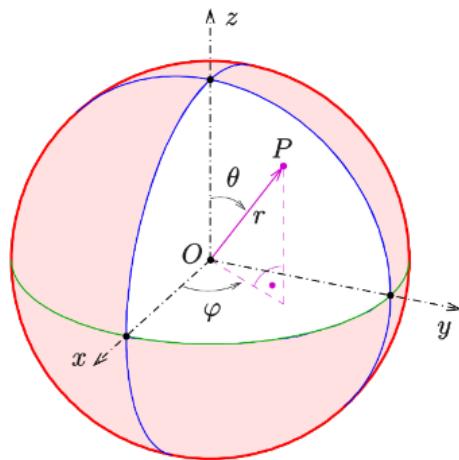


Fig. 3.22. Calculul coordonatelor sferice ale unui punct scanat [55]

$$\begin{cases} x = r * \sin\theta * \cos\varphi \\ y = r * \sin\theta * \sin\varphi \\ z = r * \cos\theta \end{cases} \quad (3.3)$$

4. Setul de coordonate carteziene este trimis apoi de la placa de dezvoltare la portul USB al calculatorului. În continuare am utilizat două variante de colectare și vizualizare a datelor.
 - a. Utilizând programul dezvoltat în Processing, care citește și afișează norul de puncte în timp real;

- b. Utilizând aplicația CoolTerm pentru citirea seturilor de coordonate și CloudCompare pentru vizualizarea rapidă a acestora sub forma unui nor de puncte.
- 5. După transmiterea datelor, motorul pas cu pas își modifică poziția cu un pas.
- 6. În cazul în care acesta nu a efectuat o rotație completă, algoritmul se reia. Altfel, dacă motorul pas cu pas a efectuat o rotație completă, algoritmul continuă.
- 7. Se verifică dacă servomotorul ajuns la capăt. Dacă nu a ajuns, acesta își modifică poziția cu un grad, iar algoritmul se reia. Altfel, dacă a ajuns la capăt, înseamnă că scanarea a luat sfârșit, iar scannerul se oprește.

În figura 3.23 este reprezentată o schemă simplificată a comunicațiilor și transferului de date și comenzi dintre componente, iar figura 3.24 prezintă algoritmul descris mai sus.

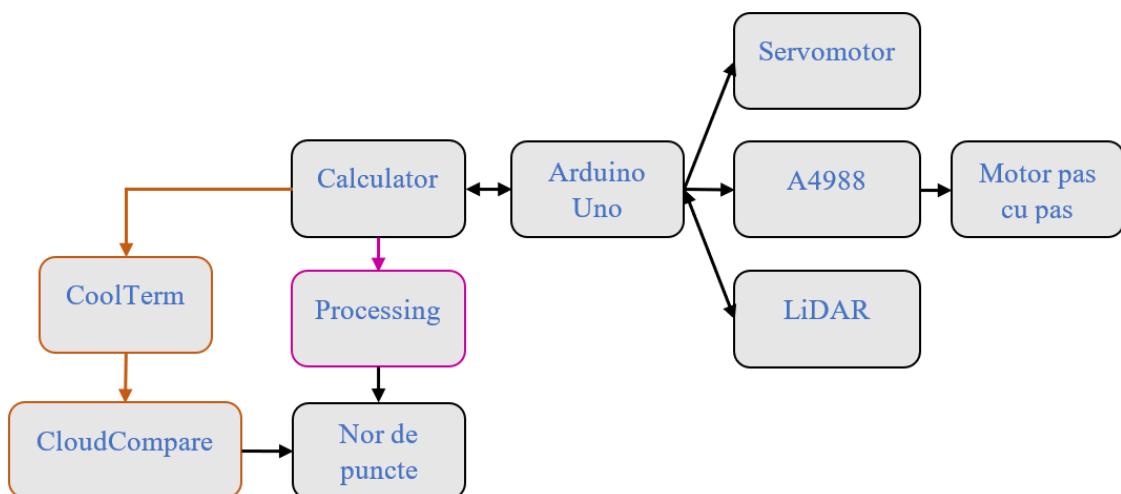


Fig. 3.23. Diagrama bloc a sistemului

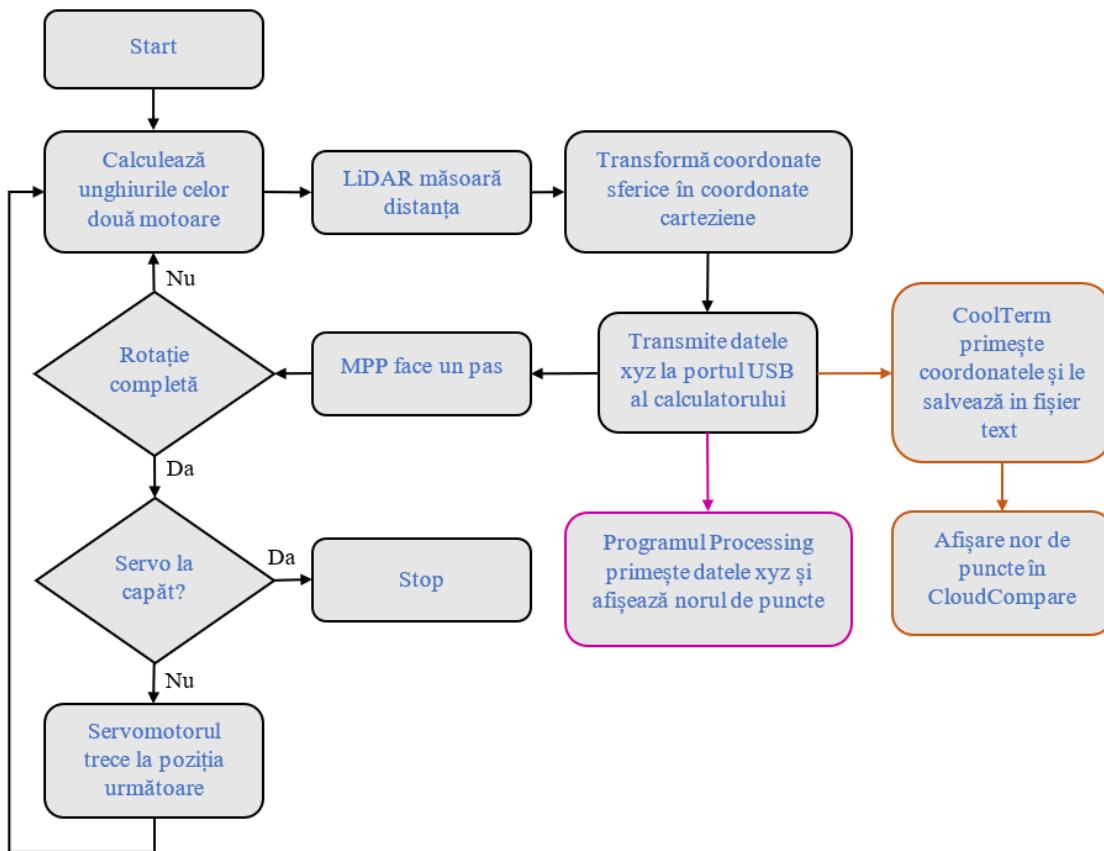


Fig. 3.24. Algoritmul de scanare 3D al sistemului

3.3.2.2 Punerea în funcțiune

Pentru încercarea inițială a sistemului, circuitul electric a fost realizat utilizând un breadboard și fire (figura 3.25). Figura 3.26 prezintă forma inițială a scannerului 3D. Schema circuitului electric inițial este prezentată în figura 3.27, fiind realizată în programul Fritzing.

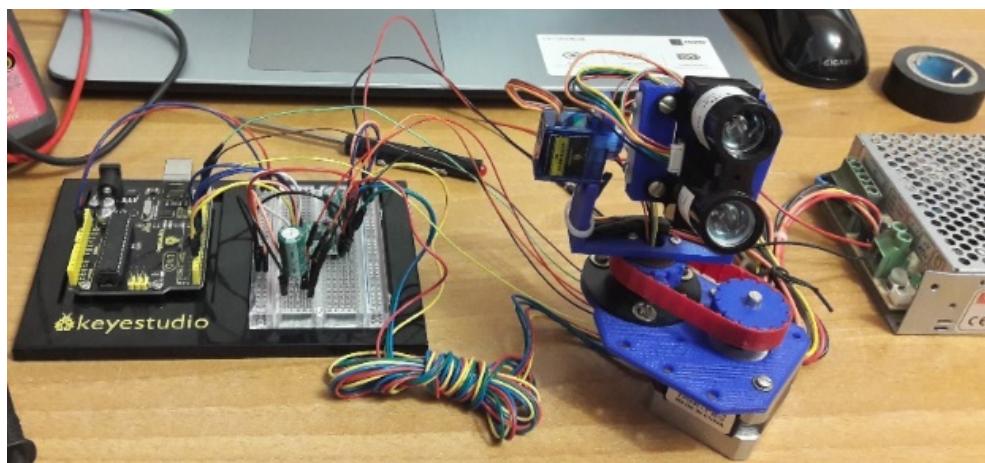


Fig. 3.25 Prima punere în funcțiune a sistemului

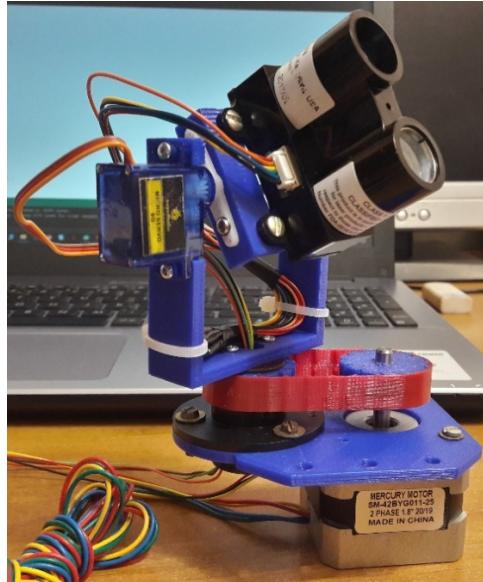


Fig. 3.26. Prima formă a scannerului

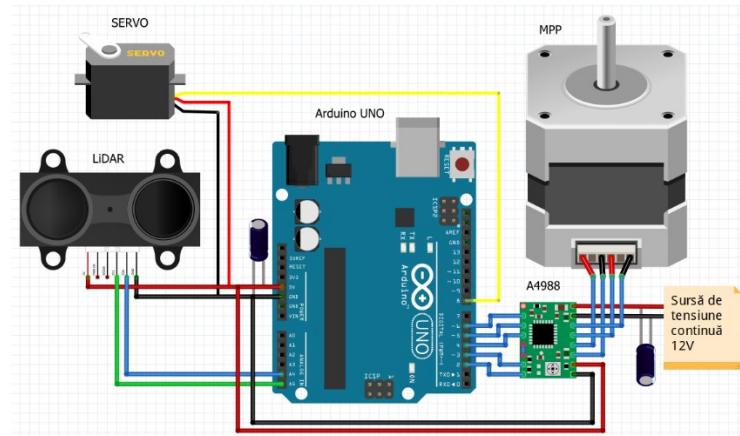


Fig. 3.27. Schema de legături a sistemului

După verificarea individuală a fiecărei componente, scannerul 3D a fost adus la forma prezentată în figura 3.20.

Punerea în funcție a sistemului s-a făcut treptat, astfel:

- S-a alimentat plăcuța Arduino Uno prin conectarea acesteia la calculator cu cablu USB;
- S-a alimentat modulul expandor cu 12V de la sursa de alimentare externă;
- Pentru protecția motorului pas cu pas, s-a setat limita de curent pentru ieșirile driverului. Utilizând relația 3.1 și ținând cont că $R_s = 100 \text{ m}\Omega$, $I_{max} = 0,35 \text{ A}$, se obține valoarea tensiunii de referință $V_{ref} = 0,28 \text{ V}$. Limitarea curentului se face măsurând tensiunea de referință după cum arată figura 3.28 și rotind potențiometrul până când voltmetrul afișează valoarea 0,28V

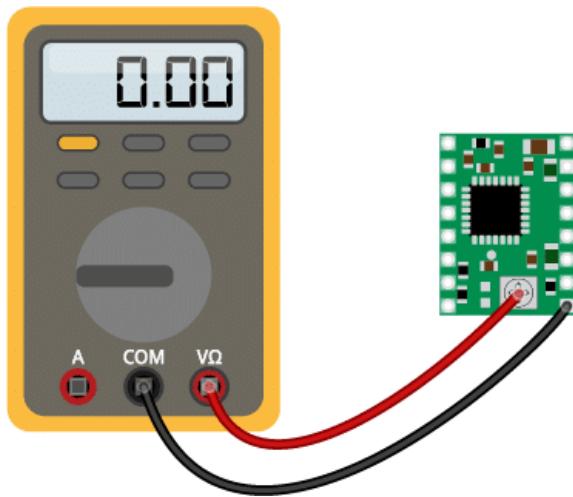


Fig. 3.28. Limitarea curentului la ieșirile driverului A4988

- S-a descărcat programul pentru scanare pe plăcuța Arduino Uno;
- Inițial s-a utilizat programul Processing pentru generarea norului de puncte. Ulterior s-a optat pentru varianta de citire a datelor cu aplicația CoolTerm și vizualizarea acestora în programul CloudCompare.

La folosirea aplicației CoolTerm, au fost necesare:

- alegerea portului USB prin care se realizează comunicația cu placă de dezvoltare Arduino Uno;
- setarea ratei de transfer a informației (baudrate);
- setarea dimensiunii buffer-ului la valoarea minimă necesară memorării tuturor datelor;
- conectarea aplicației la portul selectat anterior;
- începerea salvării datelor primite într-un fișier text prin selectarea Connection - Capture to Text/Binary File - Start.

Pentru vizualizarea norului de puncte în programul CloudCompare, trebuie parcursi următorii pași:

- deschiderea fișierului creat anterior;
- optional, setarea atributelor fiecărei coloane a fișierului, conform figurii 3.29.

1	2	3	4	5	6
<input type="button" value="X"/> coord. X	<input type="button" value="Y"/> coord. Y	<input type="button" value="Z"/> coord. Z	Red (0-255)	Scalar	Scalar
0	0	19	236	255	255

Fig. 3.29. Setarea atributelor.

Capitol 4. TESTE ȘI REZULTATE

Acet capitol prezintă etapele parcuse în testarea sistemului, urmând apoi să fie prezentate rezultatele obținute. Aceste teste au fost efectuate pentru obținerea parametrilor ce conduc la un echilibru între timpul necesar unei scanări și densitatea și calitatea norului de puncte generat. Calitatea modelului 3D generat în final depinde foarte mult de calitatea norului de puncte pe baza căruia se face reconstrucția.

După ce s-a asigurat funcționarea corectă a sistemului, s-au început testele scannerului. Având în vedere complexitatea scanării 3D, s-a decis ca primele teste să fie scanările 2D, apoi să se treacă la scanările 3D.

Pentru o înțelegere mai ușoară a norilor de puncte obținuți, rezultatele se vor compara cu următoarele imagini ale încăperii scanate (figura 4.1).

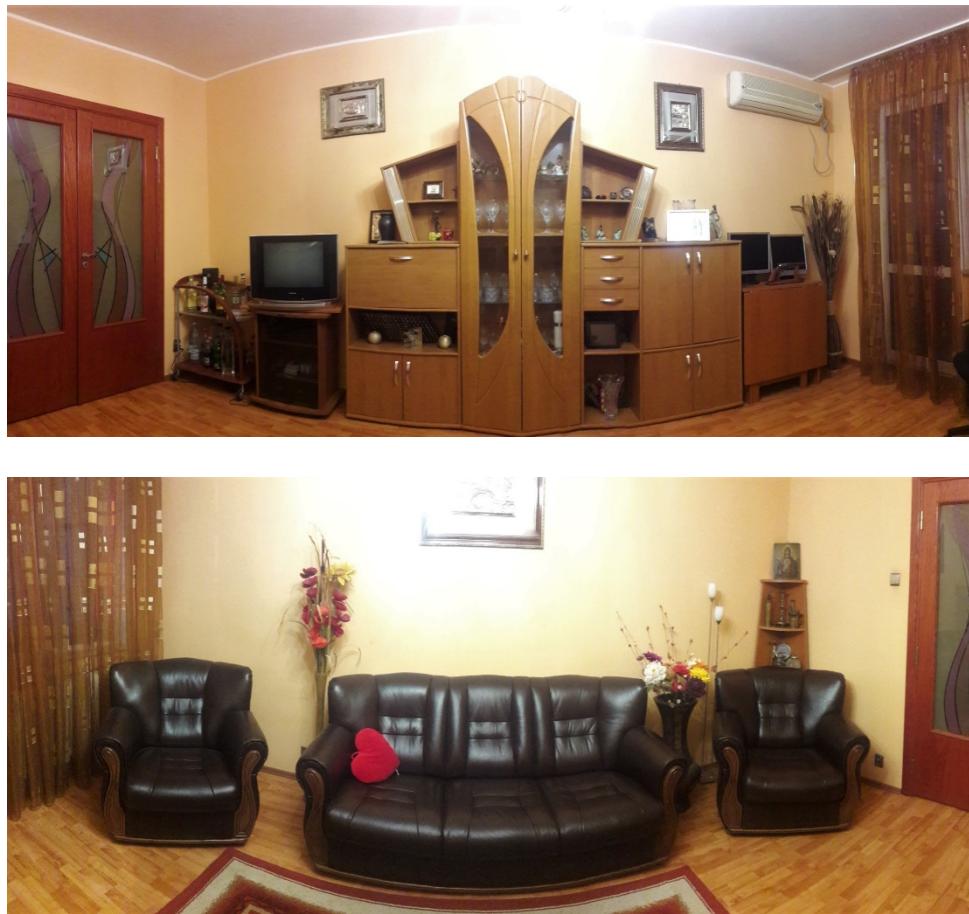


Fig. 4.1. Încăperea scanată (vedere din stânga, vedere din dreapta)

4.1 Scanare 2D

În ceea ce privește scanarea 2D, principiul de funcționare al sistemului realizat este mult mai simplu, nefiind necesară rotirea LiDAR-ului în jurul axei orizontale. Deși nu la fel de importantă precum scanarea 3D, acest tip de scanare este utilă pentru realizarea planurilor 2D și este o metodă foarte des întâlnită la robotii care trebuie să evite obstacole.

Pentru efectuarea testelor, sistemul realizat a fost plasat în centrul unei încăperi, la o înălțime de aproximativ un metru față de podea. Servomotorul a fost poziționat la un unghi de 90° , ajungând în plan orizontal, iar motorul pas cu pas a efectuat o rotație completă.



Fig. 4.2. Figura obținută în urma scanării 2D (Processing)

4.2 Scanare 3D

Testele pentru scanarea 3D au fost realizate prin modificarea pasului servomotorului și a numărului de pași al motorului pas cu pas. Pasul servomotorului a variat între 1° - 2° , iar numărul de pași ai motorului pas cu pas a luat, pe rând, valorile 200, 400, 800, 1600 și 3200 cu ajutorul driverului A4988. Rezultatele ce urmează să fie prezentate sunt obținute prin secționarea norului de puncte pe lungime, putându-se astfel vizualiza doi pereți.

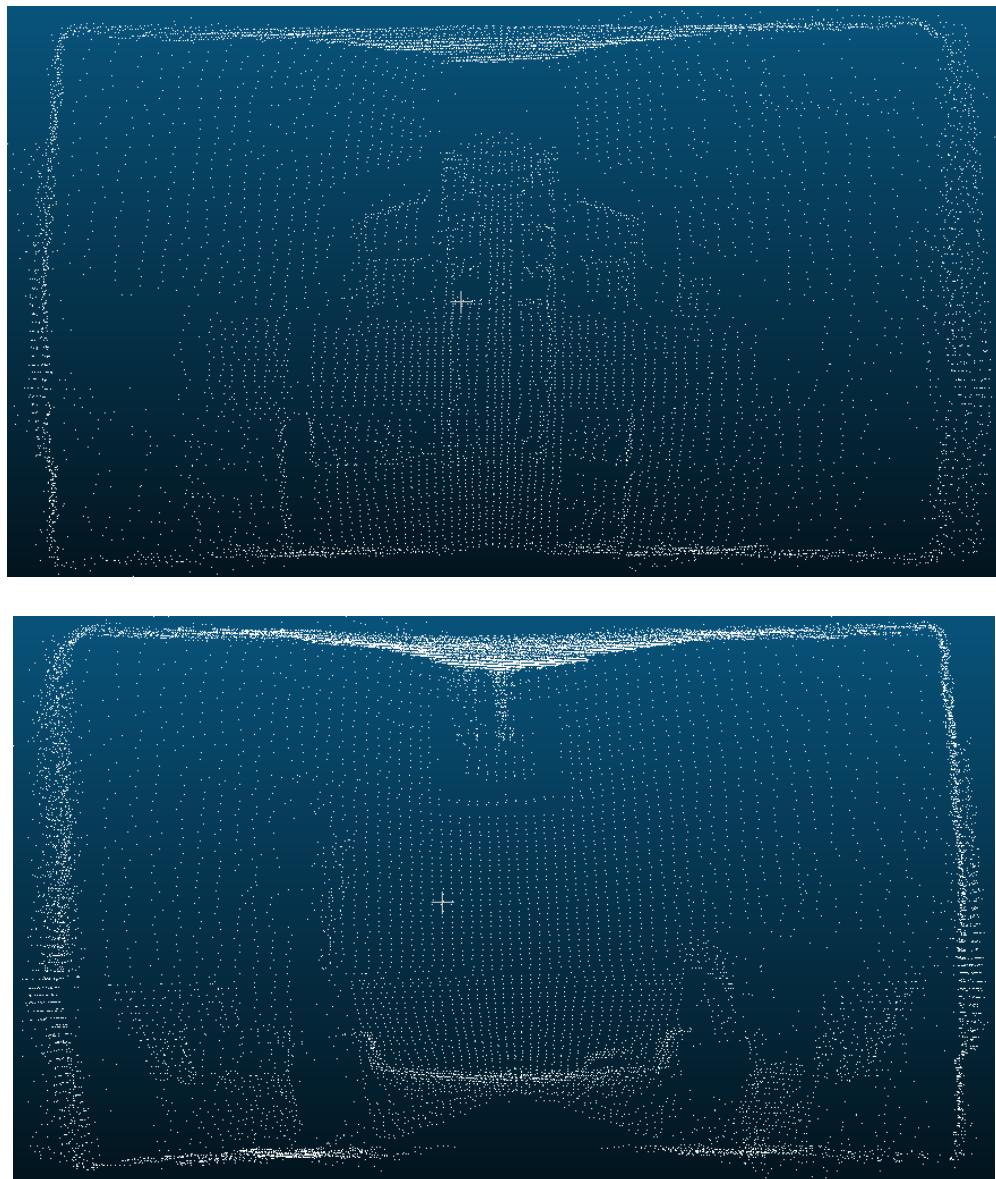


Fig. 4.3. Norul de puncte obținut cu pas de 1° și 200 pași (vedere din stânga, vedere din dreapta)

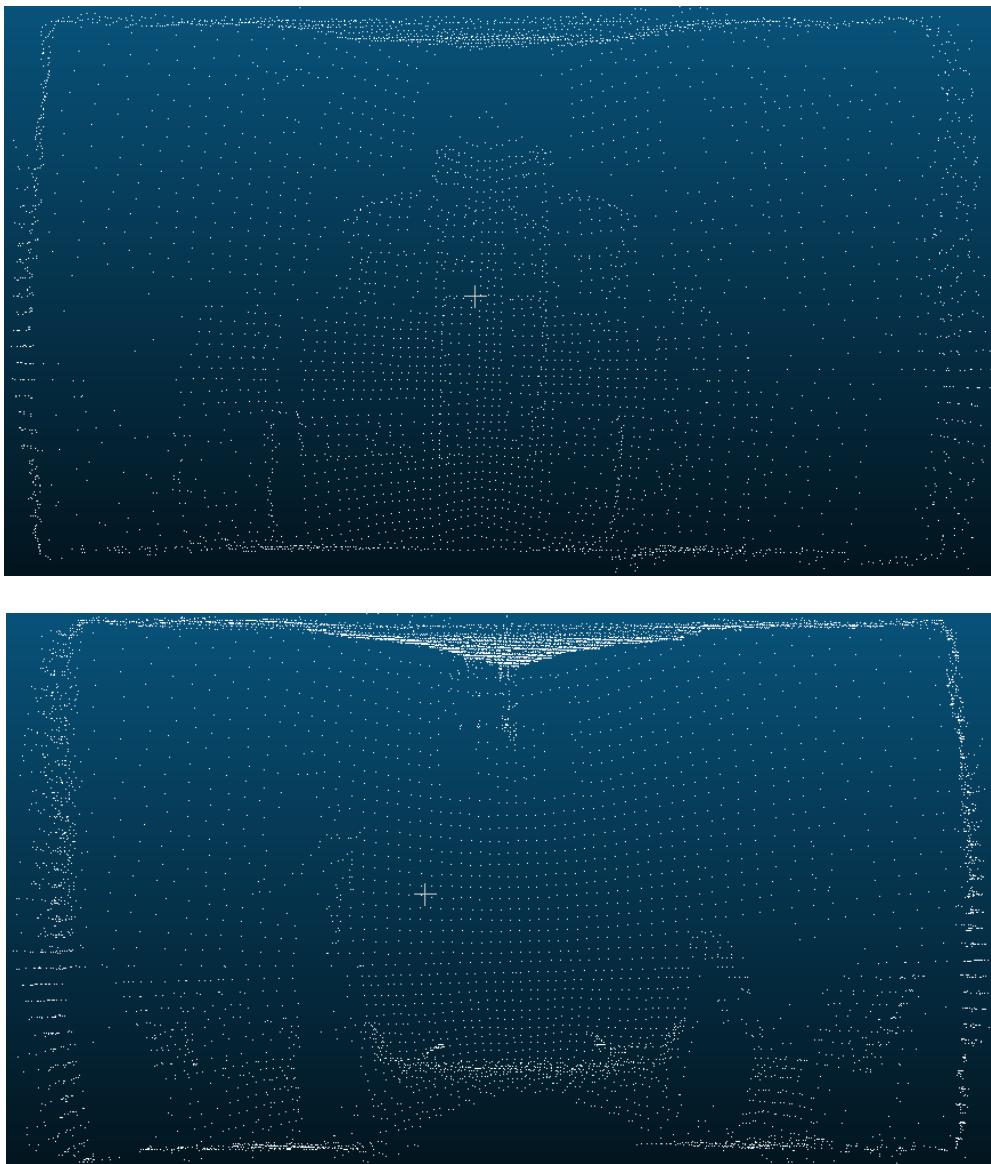


Fig. 4.4. Norul de puncte obținut cu pas de 2° și 200 pași (vedere din stânga, vedere din dreapta)

S-a constatat că pasul de două grade al servomotorului reduce considerabil calitatea norului de puncte generat. Astfel, pentru aflarea distanței dintre punctele alăturate în plan vertical, s-au efectuat calcule pe baza relației 4.1.

$$d_{pct} \cong L_{arc} = \frac{\pi * d_{scan} * \theta}{180} \quad (4.1)$$

unde:

- d_{pct} reprezintă distanța dintre puncte;
- L_{arc} reprezintă lungimea arcului de cerc format de unghiul θ ;
- d_{scan} reprezintă distanța la care se scanează (maxim 40m).

Din calcule efectuate pentru distanțe de 10 metri și pas de 2° , se constată că distanța dintre puncte este de 34cm. Pentru aceeași distanță de scanare, dar pas de 1° , distanța dintre puncte se reduce la 17cm. Astfel, pentru a păstra calitatea acestuia, pasul servomotorului pentru viitoarele scanări a fost setat la un grad.

Această evaluare nu este necesară în cazul motorului pas cu pas, însăci pasul acestuia este de maxim $1,8^\circ$, iar în scanările viitoare se utilizează pas de minim $0,9^\circ$.

După efectuarea testelor în funcție de numărul de pași ai motorului pas cu pas, s-a constatat că perioada de timp necesară afișării norului de puncte, utilizând Processing, este mare. La o scanare de 400 pași, timpul de scanare a fost aproximativ 4 minute și 15 secunde, iar timpul de afișare a norului de puncte a fost de aproximativ 1 oră și 15 minute. Astfel, pentru viitoarele scanări, s-a optat pentru colectarea datelor utilizând aplicația CoolTerm și vizualizarea acestora sub forma unui nor de puncte utilizând aplicația CloudCompare, reducând considerabil timpul de afișare.

În continuare sunt prezentate imagini ale norilor de puncte rezultate în urma scanării cu 400, 800, 1600 și 3200 de pași pentru o rotație completă a motorului pas cu pas.

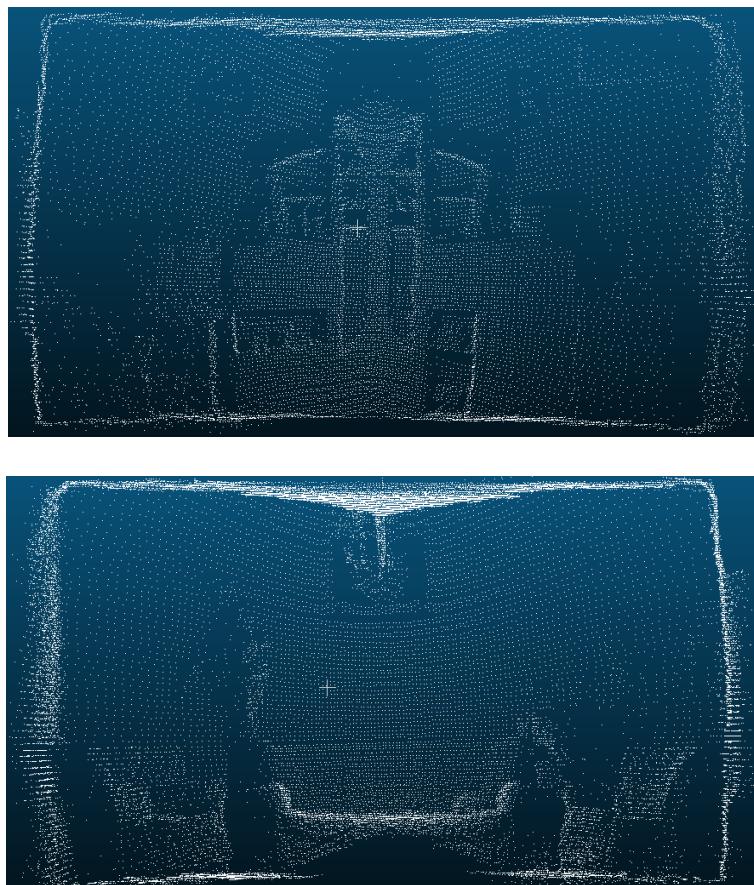


Fig. 4.5. Norul de puncte obținut la 400 de pași (vedere din stânga, vedere din dreapta)

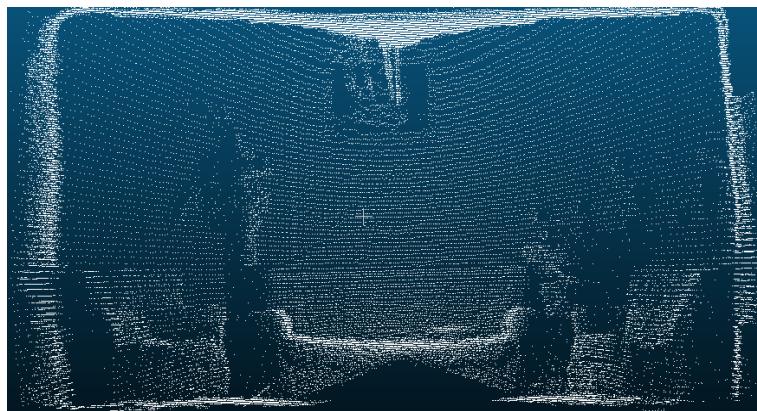
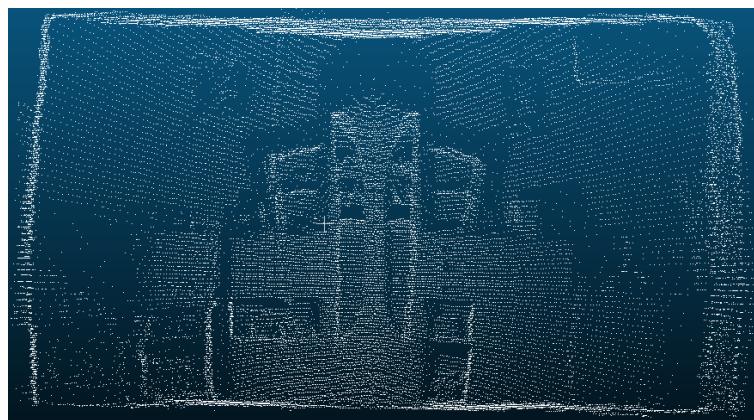


Fig. 4.6. Norul de puncte obținut la 800 de pași (vedere din stânga, vedere din dreapta)

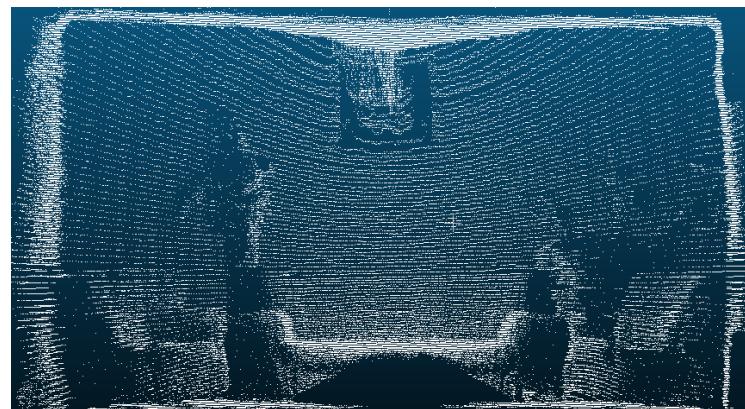


Fig. 4.7. Norul de puncte obținut la 1600 de pași (vedere din stânga, vedere din dreapta)

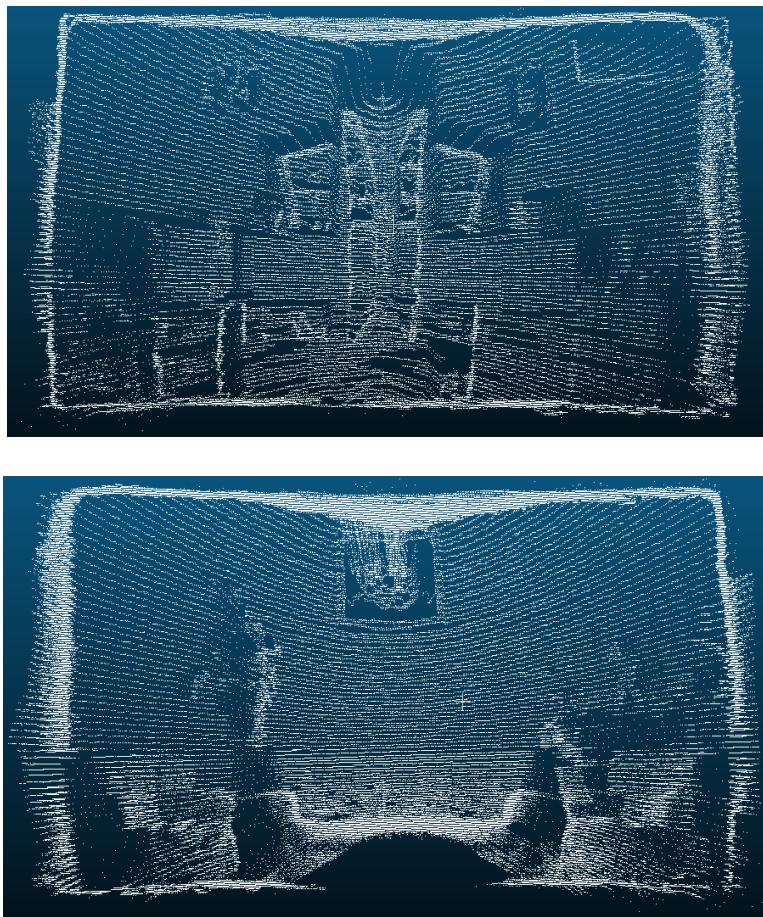


Fig. 4.8. Norul de puncte obținut la 3200 de pași (vedere din stânga, vedere din dreapta)

În urma analizei rezultatelor scanărilor în funcție de numărul de pași ai motorului pas cu pas prezentate anterior, se observă că odată cu creșterea numărului de pași, densitatea punctelor crește, ceea ce conduce la o mai bună calitate a imaginii create. Astfel, cu cât numărul de pași crește, cu atât se disting mai ușor obiectele din încăperea scanată (canapea, fotolii, ornamente florale, tablouri, perdea, vitrină, etc.).

Figura 4.9 prezintă câteva dintre erorile ce pot apărea în scanarea 3D. Se observă clar efectul negativ pe care îl pot avea suprafețele precum sticla și oglinda, întrucât sticla permite trecerea radiației laser, în timp ce oglinda o reflectă în totalitate. Astfel, în cazul ușilor cu geamuri, radiația laser trece prin ele și se reflectă de pe alte suprafețe prezente în afara încăperii, iar în cazul tablourilor cu oglinzi, radiația este deviată în totalitate către tavan. În realitate, punctele prezentate ca erori în cazul oglinzilor și punctele scanate de fapt, sunt practic simetrice față de suprafața oglinzii. În figurile anterioare se pot observa cele 3 tablouri cu oglinzi (zonele înnegrite).

O altă eroare poate fi observată în partea dreaptă a figurii 4.9, eroarea fiind dată de unghiul de incidentă foarte mare al radiației laser pe suprafața scanată (pliurile perdelei).

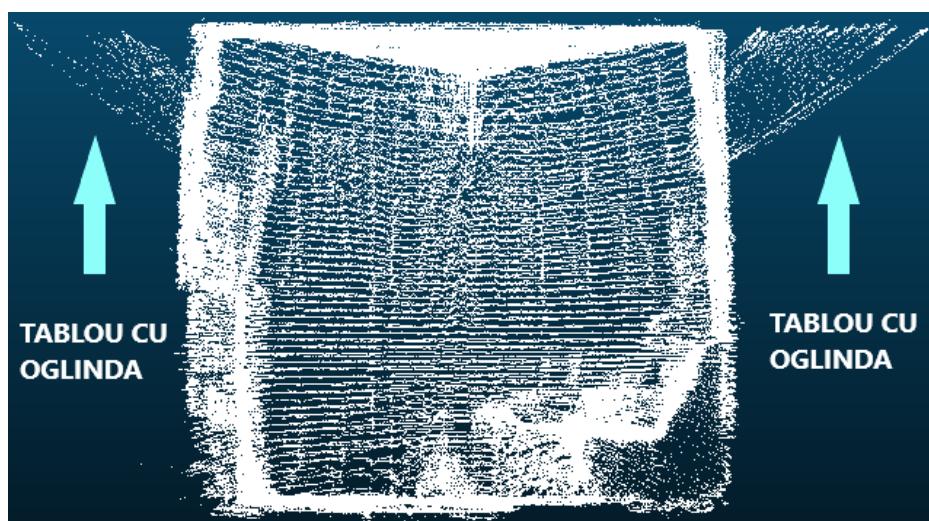
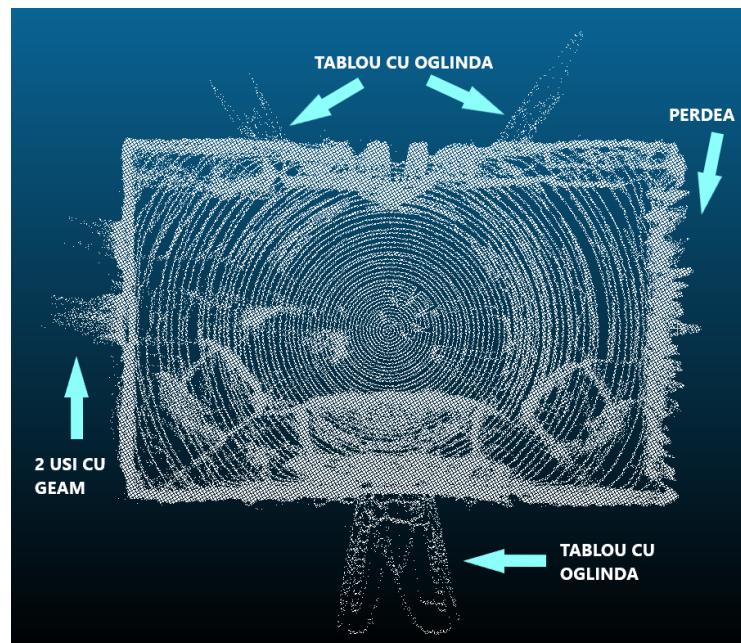


Fig. 4.9. Erorile apărute în scanarea 3D (vedere de sus, vedere din lateral)

În timpul efectuării acestor teste, s-au analizat timpul necesar completării fiecărei scanări și numărul de puncte al norilor obținuți. În figura 4.10 este prezentat timpul aproximativ necesar pentru fiecare scanare 3D, în funcție de pasul MPP, iar în figura 4.11 este prezentat numărul teoretic de puncte al norilor obținuți în urma scanărilor, în funcție de pasul MPP.

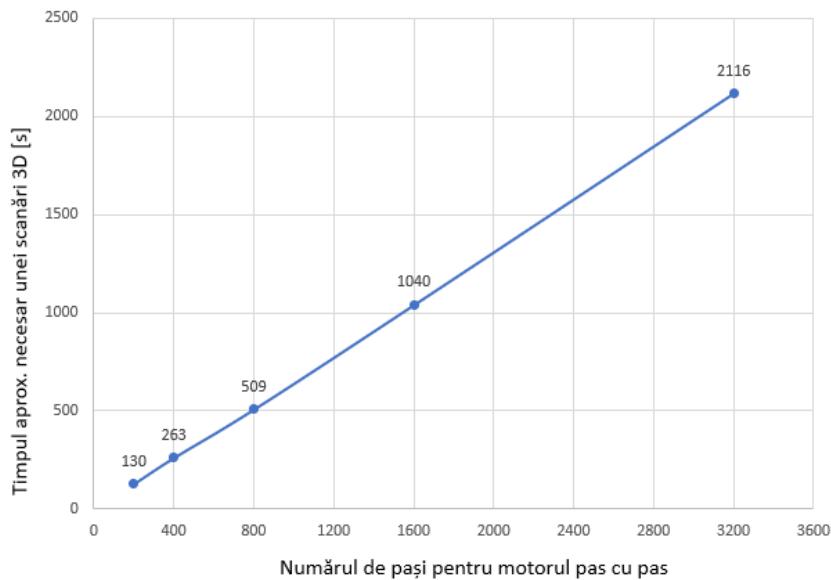


Fig. 4.10. Timpul aproximativ necesar pentru fiecare scanare 3D, în funcție de pasul MPP

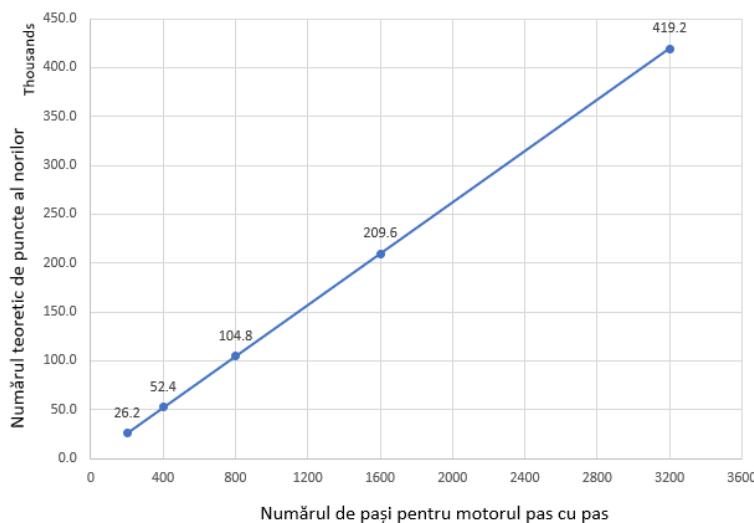


Fig. 4.11. Numărul teoretic de puncte al norilor, în funcție de pasul MPP

Analizând cele două grafice, se observă o creștere aproximativ liniară în ambele cazuri. Având în vedere algoritmul utilizat pentru scanarea 3D și numărul de pași pentru MPP care se dublează de fiecare dată, aceste rezultate sunt foarte apropiate de valorile reale.

4.3 Reconstrucția modelului 3D

Pentru reconstruirea modelului 3D a fost necesară scanarea încăperii în repetate rânduri, din diferite unghiuri, încrucișând norii de puncte prezenți anterior nu conțin destule puncte pentru definirea corectă a suprafețelor. Acest impediment apare deoarece, aşa cum a fost menționat și în subcapitolul 2.4, este imposibilă scanarea unor suprafețe aflate în afara câmpului vizual al scannerului. În figurile anterioare, aceste suprafețe se pot identifica după zonele înnegrite (fără puncte) ale norului de puncte. Astfel, pentru încăperea prezentată în figura 4.1, s-au ales trei poziții diferite de amplasare a scannerului 3D: în centru și la jumătatea distanțelor de la centru la pereții îndepărtați.

Rezultatele obținute în urma reconstrucției sunt prezentate în figura 4.12, prin secționarea modelului 3D pe lungime, putându-se astfel vizualiza doi pereți.

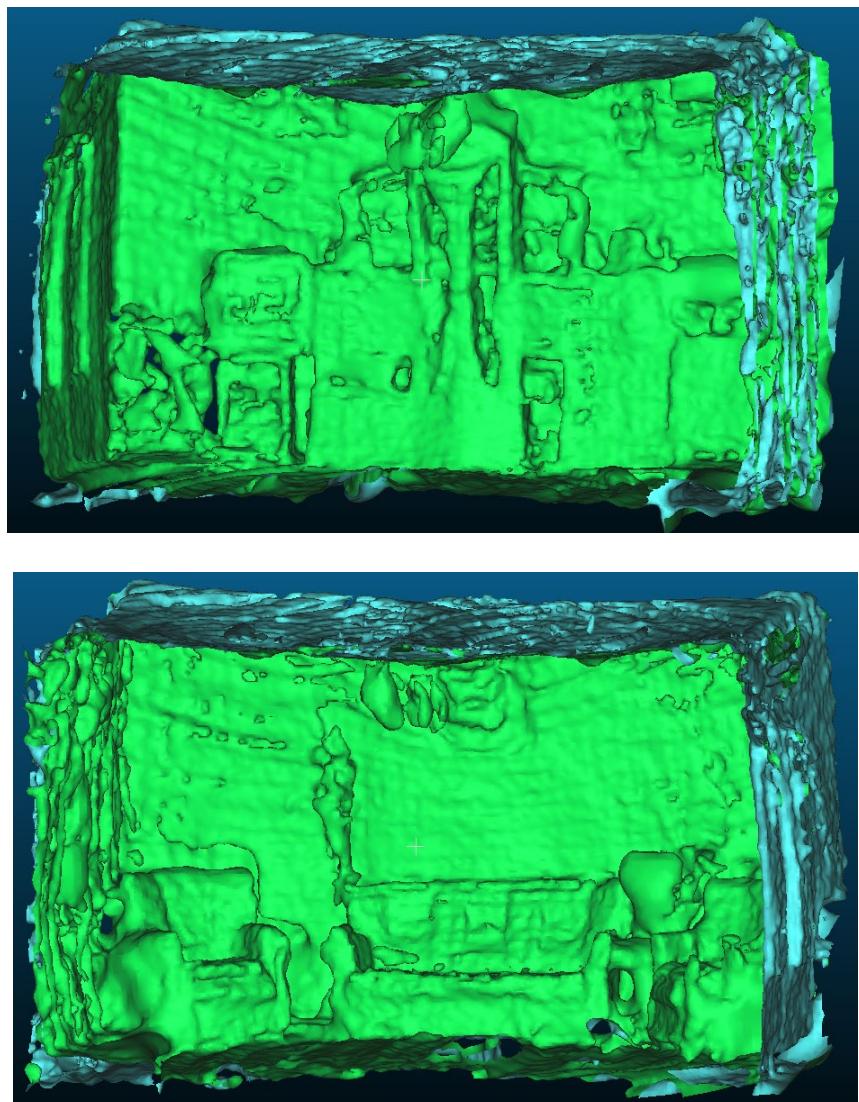


Fig. 4.12. Modelul 3D obținut în urma reconstrucției (verde – interior, bleu - exterior)

Comparând modelul 3D cu încăperea reală prezentată în figura 4.1, se pot distinge cu ușurință obiectele din figura 4.12 (canapea, fotolii, ornamente florale, tablouri, perdea, vitrină, etc.).

Deși majoritatea obiectelor din vecinătatea scannerului pot fi identificate, se observă calitatea redusă a modelului 3D obținut. Principala cauză a calității reduse o reprezintă densitatea norului de puncte și faptul că există suprafete aflate în afara câmpului vizual al scannerului.

Pentru a obține un model 3D de o calitate mai bună, este necesar ca scanările 3D să fie efectuate din mult mai multe locuri, sau să se utilizeze un scanner portabil pentru a face posibilă scanarea suprafetelor aflate în afara câmpului vizual al scannerului realizat.

CONCLUZII

Scannerele 3D au apărut ca urmare a dorinței oamenilor de a crea replici fidele ale unor obiecte tridimensionale, într-un timp foarte scurt și cu o acuratețe ridicată. În scanarea 3D, două dintre cele mai importante aspecte sunt precizia cu care sunt colectate datele și intervalul de timp în care acestea sunt transmise la calculator, procesate și afișate, întrucât pe baza lor se obține modelul 3D. Totodată, este foarte important ca scannerele 3D să aibă dimensiuni și greutate reduse, pentru a facilita întrebuințarea de către utilizator.

În cadrul prezentei lucrări s-a realizat un sistem de scanare 3D și reconstrucție a unei încăperi, utilizând LiDAR. S-a urmărit menținerea unui raport optim între calitatea rezultatelor obținute și costul pe care acesta l-a presupus. Astfel, s-au utilizat componente accesibile din punct de vedere al prețului, cu excepția senzorului LiDAR, care a fost ales pentru specificațiile tehnice avantajoase.

Avantajele pe care acest sistem le prezintă sunt:

- posibilitatea de a scana atât 2D cât și 3D;
- posibilitatea de a scana până la o distanță de aproximativ 40 de metri;
- posibilitatea de a modifica numărul de pași ai MPP, nefiind necesară scanarea cu rezoluție maximă pentru încăperile foarte mici;
- viteza de scanare și afișare a norului de puncte;
- posibilitatea de a fi montat pe o platformă mobilă, ceea ce face posibilă dezvoltarea ulterioară a unei mașini autonome;
- dimensiuni și greutate reduse, ceea ce face ca dispozitivul să poată fi transportat cu mare ușurință.

Dezavantajele acestui sistem sunt:

- este un sistem la nivel de prototip;
- distanța dintre punctele aflate în plan vertical este mare, ceea ce limitează densitatea norului de puncte. Acest dezavantaj este introdus de limitarea servomotorului;
- modelul 3D obținut nu este precis, lăsând loc de îmbunătățiri.

În ceea ce privește dezvoltarea sistemului pe viitor, o primă modificare ce trebuie luată în considerare este înlocuirea servomotorului cu un motor pas cu pas, pentru a obține nori de puncte de o densitate mult mai mare. Astfel, modelul 3D generat va fi îmbunătățit. O altă modificare ce poate fi luată în considerare este adăugarea unui modul wi-fi pentru transmiterea datelor, eliminând astfel cablul USB.

Ideea de bază a acestui sistem a fost prezentată în cadrul Sesiunii de Comunicări Științifice Studențești organizată de Facultatea de Inginerie Electrică, sesiunea mai 2020, la care a obținut premiul 1 (Anexa 3).

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Yalçinkaya S., Yıldız B., Borak M.*, „Optical 3D Scanner Technology”, în 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry, 2019.
- [2] *Ebrahim M. A-B.*, „3D Laser Scanners: History, Applications, And Future”, Editura LAP Lambert Academic, 2011.
- [3] *Ebrahim M.A-B.*, „3D Laser Scanners' Techniques Overview”, în International Journal of Science and Research, Vol. 4, 2015.
- [4] *Edl M., Mizerák M., Trojan J.*, „3D Laser Scanners: History and Applications”, în Acta Simulatio, Vol. 4, nr. 4, pag. 1-5, ISSN 1339-9640, 2018.
- [5] *Wandinger U., Sassen K., Bissonnette, L. R., Ansmann A., Eloranta E. E., Werner C., Gimnstad G. G., Bösenberg J., Behrendt A., Abo M., Werner C., Patrick McCormick M., Theopold F. A.*, „Lidar Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere”, Editura Springer-Verlag New York, 2005.
- [6] *Mordor intelligence*, „3d Scanning Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025)” valabil on-line la URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/gloval-3d-scanners-market-industry>, accesat la 26.04.2020.
- [7] *Creaform3D*, „Creaform - GO!SCAN”, valabil on-line la URL: <https://www.creaform3d.com/en/handheld-portable-3d-scanner-goscan-3d>, accesat la 26.04.2020.
- [8] *Peel-3D*, „PEEL 3D Peel 2” valabil on-line la URL: <https://peel-3d.com/products/peel-2>, accesat la 26.04.2020.
- [9] *Allied market research*, „LiDAR Market”, valabil on-line la URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/lidar-market>, accesat la 26.04.2020.
- [10] *Market research reports*, „Top 10 LiDAR Manufacturers in the World”, valabil on-line la URL: <https://www.marketresearchreports.com/blog/2019/04/22/top-10-lidar-manufacturers-world>, accesat la 26.04.2020.
- [11] *Velodyne Lidar*, valabil on-line la URL: <https://velodynelidar.com/products/alpha-prime/>, accesat la 26.04.2020.
- [12] *SICK*, „MRS1000 MRS1104C-111011, Product data sheet”, valabil on-line la URL: https://cdn.sick.com/media/pdf/4/44/044/dataSheet_MRS1104C-111011_1081208_en.pdf, accesat la 26.04.2020.
- [13] *Velodyne Lidar*, „Datasheet Alpha Prime”, valabil pentru descărcare de la URL: <https://velodynelidar.com/products/alpha-prime/>, accesat la 26.04.2020.
- [14] *Curless B.*, „From Range Scans to 3D Models”, în Computer Graphics, Vol. 33, nr. 4, pag. 38-41, 1999.
- [15] *Voicu A.-C., Gheorghe G.I.*, „Măsurarea 3D a reperelor complexe din industria auto utilizând scanare laser”, în Buletinul AGIR nr. 3, 2013.

- [16] *Iordan D.*, „Aplicarea tehnologiilor laser la studiul topografic al bazinului hidrografic someș-tisa”, rezumat al tezei de doctorat, Universitatea din București, Facultatea de Geologie și Geofizică, București 2014.
- [17] *pngwing*, „Laser diode Wavelength Emission spectrum Optics”, valabil on-line la URL: <https://www.pngwing.com/en/free-png-zfmxp>, accesat la 26.04.2020.
- [18] *Wikipedia*, „Electromagnetic radiation”, valabil on-line la URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation#X-rays_and_gamma_rays, accesat la 26.04.2020.
- [19] *Soave E., D'Elia G., Mucchi E.*, „A laser triangulation sensor for vibrational structural analysis and diagnostics”, în Measurement and Control (United Kingdom), Vol. 53, nr. 1-2, pag. 73-82, 2020.
- [20] *Remondino F.*, „From point cloud to surface: the modeling and visualization problem” în International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, nr. 5, pag. 24-28, 2003.
- [21] *Ciortan S.*, „C.A.D Avansat”, Editura Evrika, Brăila, ISBN 973-8052-94-7, 2002.
- [22] *Thomson C.*, „Common 3D point cloud file formats & solving interoperability issues”, valabil on-line la URL: <https://info.vercator.com/blog/what-are-the-most-common-3d-point-cloud-file-formats-and-how-to-solve-interoperability-issues>, accesat la 23.04.2020.
- [23] *ArcGIS*, „Types of lidar”, valabil on-line la URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/types-of-lidar.htm>, accesat la 04.06.2020.
- [24] *Chaturvedi A.*, „Do you know how many types of LiDAR are there?”, valabil on-line la URL: <https://www.geospatialworld.net/blogs/do-you-know-types-of-lidar/>, accesat la 04.06.2020.
- [25] *Lidar News*, „Airborne Lidar – Discrete Return Or Full Waveform?”, valabil on-line la URL: <https://lidarnews.com/articles/airborne-lidar-discrete-full-waveform/>, accesat la 04.06.2020.
- [26] *Metron3D*, „Metron E”, valabil on-line la URL: <https://www.metron3d.com/metron-e/>, accesat la 04.06.2020.
- [27] *EinScan*, „EinScan Desktop 3D Scanner”, valabil on-line la URL: <https://www.einscan.com/desktop-3d-scanners/>, accesat la 04.06.2020.
- [28] *Artec3D*, „3D Object Scanner Artec Eva”, valabil on-line la URL: <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-eva-v2>, accesat la 05.06.2020.
- [29] *Daneshmand M., Helmi A., Avots E., Noroozi F., Alisinanoglu F., Arslan H.S., Gorbova J., Haamer R.E., Ozcinar C., Anbarjafari G.*, „3D Scanning: A Comprehensive Survey”, 2018, valabil on-line la URL: <http://arxiv.org/abs/1801.08863>.
- [30] *Barazzetti L., Sala R., Scaioni M., Cattaneo C., Gibelli D., Giussani A., Poppa P., Roncoroni F., Vandone A.*, „3D scanning and imaging for quick documentation of crime and accident scenes”, în Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense XI, Editura SPIE, Vol. 8359, pag. 835910, 2012.

- [31] *McMananmon P.F.*, „LiDAR Technologies and Systems”, SPIE Digital Library, ISBN 9781510625402, 2019.
- [32] *Foldager F.F., Pedersen J.M., Haubro Skov E., Evgrafova A. Green O.*, „LiDAR-Based 3D Scans of Soil Surfaces and Furrows in Two Soil Types”, în Sensors vol. 19(3), pag. 661., 2019.
- [33] *Panjvani K., Dinh A.V., Wahid K.A.*, „LiDARPheno – A low-cost LiDAR-based 3D scanning system for leaf morphological trait extraction” în Frontiers in Plant Science, Vol. 10, pag. 147, 2019.
- [34] *Panjvani K.*, „Lidarpheno: A Low-Cost Lidar-Based 3d Scanning System For Plant Morphological Trait Characterization”, Lucrare de dizertație, University of Saskatchewan, 2018.
- [35] *Goulden, T.*, „Prediction of Error Due To Terrain Slope in Lidar Observations”, Lucrare de dizertație, University of New Brunswick, 2009.
- [36] *Mullen L.J., Vincent M.C., Herczfeld P.R.*, U.S. Patent, US7010339B2, „HYBRID LIDAR-RADAR FOR MEDICAL DIAGNOSTICC” 2002.
- [37] *Cazacu M.M.*, „Contribuții la implementarea primei rețele LIDAR la scară națională pentru caracterizarea optică a aerosolilor atmosferici”, rezumatul tezei de doctorat, Universitatea „Al. I. CUZA”, Facultatea de fizică, Iași 2010.
- [38] *Maulana I., Rusdinar A., Priramadhi R.A.*, „LIDAR Application for Mapping and Robot Navigation on Closed Environment”, în Journal of Measurement, Electronic, Communication, and Systems, Vol. 4(1), pag. 20, 2018.
- [39] *Rachman, A.S.A.*, „3D-LIDAR Multi Object Tracking for Autonomous Driving”, Lucrare de dizertație, Delft University of Technology, Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering, 2017.
- [40] *Pradhan B., Sameen M.I.*, „Laser Scanning Systems in Highway and Safety Assessment. Analysis of Highway Geometry and Safety Using LiDAR”, Editura Springer-Verlag New York, 2020.
- [41] *3SPACE*, „Advantages & Disadvantages of 3D Laser Scanning”, valabil on-line la URL: <https://3space.com/blog/advantages-disadvantages-of-3d-laser-scanning/>, accesat la 05.06.2020.
- [42] *1STH*, „Advantages Of 3d Laser Scanning”, valabil on-line la URL: <https://1sth.co.uk/advantages-3d-laser-scanning/>, accesat la 05.06.2020.
- [43] *Xu Y., Gao J., Wang J.*, „3D laser scanning technology” în Journal of Geomatics, Vol. 35, nr. 4, pag. 5–6, 2010.
- [44] *Arduino*, „Arduino - Environment”, valabil on-line la URL: <https://www.arduino.cc/en/guide/environment>, accesat la 29.04.2020.
- [45] *Optimus Digital*, „Proto Shield pentru Arduino UNO / LEONARDO”, valabil on-line la URL: <https://www.optimusdigital.ro/ro/shield-uri-pentru-arduino/71-proto-shield-pentru-arduino.html>, accesat la 28.04.2020.

- [46] *Garmin*, „Lidar Lite v3 Operation Manual and Technical Specifications”, valabil on-line la URL:
https://static.garmin.com/pumac/LIDAR_Lite_v3_Operation_Manual_and_Technical_Specifications.pdf, accesat la 28.04.2020.
- [47] *Distrelec*, „SM42BYG01125 Bipolar Stepper Motor NEMA 17 12V SparkFun Electronics”, valabil on-line la URL: <https://www.distrelec.ro/ro/bipolar-stepper-motor-nema-17-12v-sparkfun-electronics-sm-42byg011-25/p/30145493?q=nema+17&pos=1&origPos=21&origPageSize=10&track=true>, accesat la 28.04.2020.
- [48] *Pololu*, „Pololu – A4988 Stepper Motor Driver Carrier”, valabil on-line la URL:
<https://www.pololu.com/product/1182/pictures>, accesat la 28.04.2020.
- [49] *Adafruit*, „Slip Ring with Flange – 22mm diameter, 6 wires, max 240V @ 2A”, valabil on-line la URL: <https://www.adafruit.com/product/736#technical-details>, accesat la 28.04.2020.
- [50] *Năvrăpescu V.*, „Actionări electrice de curent continuu”, Editura ICPE, 1999.
- [51] *Robotistan*, „Buy Tower Pro SG90 RC Mini Servo Motor”, valabil on-line la URL:
<https://www.robotistan.com/tower-pro-sg90-rc-mini-servo-motor-eng>, accesat la 28.04.2020.
- [52] *science.smith*, „Introduction to Processing”, valabil on-line la URL:
http://www.science.smith.edu/dftwiki/index.php/Introduction_to_Processing, accesat la 28.04.2020.
- [53] *Meier R.*, „Roger Meier's Freeware”, valabil on-line la URL: <https://freeware.the-meiers.org/>, accesat la 28.04.2020.
- [54] *Wikipedia*, „CloudCompare”, valabil on-line la URL:
<https://en.wikipedia.org/wiki/CloudCompare>, accesat la 28.04.2020.
- [55] *Wikipedia*, „Kulekoordinater”, valabil on-line la URL:
<https://no.wikipedia.org/wiki/Kulekoordinater>, accesat la 28.04.2020.

ANEXE

Anexa 1. Codul utilizat pentru programarea Arduino Uno

```
/*
 * Stanciu Victor
 * Proiect de Diploma 2020
 * Program Scanner 3D LiDAR
 * 01.05.2020
 */
#include <SoftwareServo.h>
#include <Wire.h>
#include <LIDARLite.h>

#define noOfSteps 1600
#define pinEnable 11
#define pinDir 2
#define pinStep 3
#define pinMS1 4
#define pinMS2 5
#define pinMS3 6

LIDARLite myLidarLite;
SoftwareServo servo;

char data[15];
volatile int stepCount = 0;
volatile int roundCount = 0;
float r, theta, phi;

int heightServo, heightGrade = 0;
int x, y, z = 0;

void setup() {
    Serial.begin(2000000);

    myLidarLite.begin(0, true);
    myLidarLite.configure(0);

    servo.attach(8);
    servo.write(heightServo);

    // Setare tip pini pentru comanda A4988 - iesiri
    pinMode(pinEnable, OUTPUT);
    pinMode(pinDir, OUTPUT);
    pinMode(pinStep, OUTPUT);
    pinMode(pinMS1, OUTPUT);
    pinMode(pinMS2, OUTPUT);
    pinMode(pinMS3, OUTPUT);

    digitalWrite(pinEnable, HIGH); // Dezactivez A4988
    digitalWrite(pinDir, HIGH); // setare sens de rotire
```

```

/* Configuratie pasi Driver A4988:
 * MS1 MS2 MS3
 *
 * LOW LOW LOW = Full Step
 * HIGH LOW LOW = Half Step
 * LOW HIGH LOW = A quarter of Step
 * HIGH HIGH LOW = An eighth of Step
 * HIGH HIGH HIGH = A sixteenth of Step
 */
if(noOfSteps == 200){
    digitalWrite(pinMS1, LOW);
    digitalWrite(pinMS2, LOW);
    digitalWrite(pinMS3, LOW);
} else if(noOfSteps == 400){
    digitalWrite(pinMS1, HIGH);
    digitalWrite(pinMS2, LOW);
    digitalWrite(pinMS3, LOW);
} else if(noOfSteps == 800){
    digitalWrite(pinMS1, LOW);
    digitalWrite(pinMS2, HIGH);
    digitalWrite(pinMS3, LOW);
} else if(noOfSteps == 1600){
    digitalWrite(pinMS1, HIGH);
    digitalWrite(pinMS2, HIGH);
    digitalWrite(pinMS3, LOW);
} else if(noOfSteps == 3200){
    digitalWrite(pinMS1, HIGH);
    digitalWrite(pinMS2, HIGH);
    digitalWrite(pinMS3, HIGH);
}
delay(10000);
digitalWrite(pinEnable, LOW); // Activez A4988
}

void calculate_angles(){
    float angle = ((float)stepCount / (float)noOfSteps) * 360.0f; // Conversie din pasi MPP in grade
    // Conversie din grade in radiani
    theta = (float)angle * PI / 180.0f;
    heightGrade = map(heightServo, 0, 130, 90, -40);
    phi = (float)(heightGrade) * PI / 180.0f;
}
void calculate_coordinates(){
    x = (int)(r*cos(phi)*cos(theta));
    y = (int)(r*cos(phi)*sin(theta));
    z = (int)(r*sin(phi));
}
void move_stepper(){
    digitalWrite(pinStep, HIGH);
    // delay(10);
    digitalWrite(pinStep, LOW);

    stepCount++;
    if(stepCount >= noOfSteps) // Daca a facut 360 de grade
    {
        stepCount = 0;      // Reseteaza nr pasi
    }
}

```

```

    roundCount++;      // Incrementeaza nr de revolutii
}
}
void move_servo(){
    if(roundCount >= 1) // Daca a facut 360 grade (1 revolutii)
    {
        heightServo +=1; // Coboara servo

        if(heightServo > 130) // Daca a scanat de sus pana jos, STOP
            stop_scan();

        servo.write(heightServo);
        roundCount = 0;      // Reseteaza nr de revolutii
    }
    servo.refresh();
}
void stop_scan(){
    heightServo = 0;
    servo.write(heightServo);
    servo.refresh();
    digitalWrite(pinEnable, HIGH); // Dezactivez A4988
// Serial.println("stop_scan");
    while(1){
//   Serial.println("bucla inf");
    }
}
void loop() {
    calculate_angles();           // Calculeaza theta, phi
    r = myLidarLite.distance(true); // cu bias

    calculate_coordinates();

    sprintf(data,"%d %d %d %d %d %d\n",x,y,z,255-x,255-y,255-z); // Salveaza in array 'data'
    valorile intregi ale datelor
    Serial.print(data);          // Trimit datele la USB
//   Serial.println((String) "elevatie " + (heightGrade) + "\t" + "unghi " + angle + "\t" + "distanta " + r);

    move_stepper(); // MPP face pas
    move_servo(); // Servo coboara
}

```

Anexa 2. Codul Processing utilizat

```
// LidarViewer.pde Processing sketch
// http://www.charleslabs.fr/en/project-3D+Lidar+Scanner

// Load sketch into Processing, available from:
// https://processing.org/
// You also need to install the PeasyCam library.

// This software read coordinates of the Arduino Lidar
// (format: "X Y Z") and displays it as a 3D point cloud that you
// can move around using the mouse.
// Press 's' to save the cloud as a text file in Processing directory.

import processing.serial.*;
import peasy.*;
import java.io.FileWriter;
import java.util.Calendar;
import java.text.SimpleDateFormat;
import static javax.swing.JOptionPane.*;

Serial serial;
PeasyCam cam;
final float angleIncrement=0.1f;

ArrayList<PVector> pointList;

final int SERIAL_SPEED = 115200;

void setup() {
    size(800, 640, P3D);
    colorMode(RGB, 255, 255, 255);
    pointList = new ArrayList<PVector>();

    // PeasyCam
    cam = new PeasyCam(this, 800);
    cam.rotateZ(-3.1415/4);
    cam.rotateX(-3.1415/4);

    // Serial Port (added dialog)
    try {
        if(Serial.list().length == 0) {
            println("No serial device connected");
            exit();
        }
        else if (Serial.list().length == 1) {
            // only one device, select it
            serial = new Serial(this, Serial.list()[0], SERIAL_SPEED);
        }
        else {
            // more than 1, show dialog
            StringBuffer ttyList = new StringBuffer();
            for (int j = 0; j < Serial.list().length; j++)
                ttyList.append("\n" + Serial.list()[j]);
        }
    }
}
```

```

String selection = showInputDialog("Enter serial port to use:"+ ttyList.toString());
if (selection == null || selection.isEmpty())
    exit();

    serial = new Serial(this, selection, SERIAL_SPEED); // change baud rate to your liking
}
}
catch (Exception e) {
    println("Not able to connect to serialPort (error:"+e.getClass().getName()+" " + e.getMessage() +
")");
    exit();
}
}

void draw() {
    // Prepare window & drawing
    perspective();
    background(33);
    stroke(255,255,255);
    sphere(0.5f);
    fill(50);
    ellipse(0, 0, 10, 10);

    //Read Serial Port (if we can)
    String serialString = serial.readStringUntil('\n');
    if (serialString != null) {
        String[] coordinates = split(serialString, ' ');
        if (coordinates.length == 3) {
            pointList.add(new PVector(float(coordinates[0]), float(coordinates[1]), float(coordinates[2])));
        }
    }
}

// Draw the actual point cloud
for (int index = 0; index < pointList.size(); index++) {
    PVector v = pointList.get(index);
    if (index == pointList.size() - 1) {
        // Draw a line between Lidar and last point
        stroke(255, 15, 15);
        line(0, 0, 0, v.x,v.y,v.z);
    }
    // Draw point with a variable color
    stroke(255-v.z, 255-v.y, 255-v.x);
    point(v.x, v.y, v.z);
}
}

// Handle keyboard events : movement, save & clear all points.
void keyReleased() {
    if (key =='x') {
        // erase all points
        pointList.clear();
    } else if(key == 's'){
        saveToFile();
    }
    else if (key == CODED) {
        if (keyCode == UP) {

```

```

        cam.rotateX(angleIncrement);
    } else if (keyCode == DOWN) {
        cam.rotateX(-angleIncrement);
    } else if (keyCode == LEFT) {
        cam.rotateY(angleIncrement);
    } else if (keyCode == RIGHT) {
        cam.rotateY(-angleIncrement);
    }
}
}

// Function to save the point cloud in the Processing install directory
void saveToFile(){
    String fileName = "D:/Victor/Facultate/Licenta/Nori_de_puncte/scan" +
        new
    SimpleDateFormat("yyMMdd_HHmmss").format(Calendar.getInstance().getTime())+".xyz";
    PrintWriter pw = null;

    try{
        pw = new PrintWriter(new FileWriter(fileName,true));
        for(int i=0;i<pointList.size();i++)
            pw.println((int)pointList.get(i).x + " " + // Salveaza in fisier coordonate xyz si culoarea
        punctelor
            (int)pointList.get(i).y + " " +
            (int)pointList.get(i).z + " " +
            (int)(255-pointList.get(i).z) + " " +
            (int)(255-pointList.get(i).y) + " " +
            (int)(255-pointList.get(i).x));
    }
    catch(Exception e){
    }
    finally {
        if(pw != null) pw.close();
    }
}

```

Anexa 3. Diploma obținută în cadrul Sesiunii de Comunicări Științifice Studențești



- [1] F. C. Argatu, V. Argatu, B. A. Enache, C. Cepisca, G. C. Seritan, and P. C. Andrei, “Load Monitoring Solutions for the Smart Buildings – An Overview,” *Sci. Bull. Electr. Eng. Fac.*, vol. 18, no. 2, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1515/sbeef-2017-0026.
- [2] F. C. Argatu and C. Daniel Oancea, “An analysis of influence of different type of light sources to the power quality,” 2016, doi: 10.1109/ICEPE.2016.7781451.
- [3] S. D. Grigorescu *et al.*, “Coaxial Linear Motor for Electromagnetic Launchers,” *Sci. Bull. Electr. Eng. Fac.*, vol. 0, no. 0, pp. 19–22, 2016, doi: 10.1515/sbeef-2016-0016.
- [4] S. D. Grigorescu *et al.*, “Robotic Platform with Medical Applications in the Smart City Environment,” in *2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2019, pp. 1–6.