

Senzorul laser Parallax LRF02 pentru determinarea distanței

În acest moment există mai multe dispozitive de măsurare a distanțelor, utilizând diferiți senzori și principii de măsurare, cum ar fi ultrasunete, infraroșu și laser. Toate acestea sunt soluții utilizate deja în industrie, fiecare având avantaje și dezavantaje; determinarea distanțelor cu ultrasunete utilizează principiul emisiai unei unde ultrasonore și măsurarea timpului până la recepția ecoului produs de către obstacolul sau obiectul față de care se măsoară distanța, eroarea fiind de ordinul centimetrilor și a zecilor de centimetri; determinarea distanțelor utilizând senzorii cu infraroșu se bazează pe emisia unui fascicol infraroșu modulat și recepția reflexiei acestui fascicol de către obiect, precizia fiind de ordinul centimetrilor; determinarea distanțelor cu ajutorul laserului utilizează triangulația optică pentru a calcula distanța utilizând funcții trigonometrice de bază față de centrul spotului laser, poziția camerei video și obiectul de măsurat.

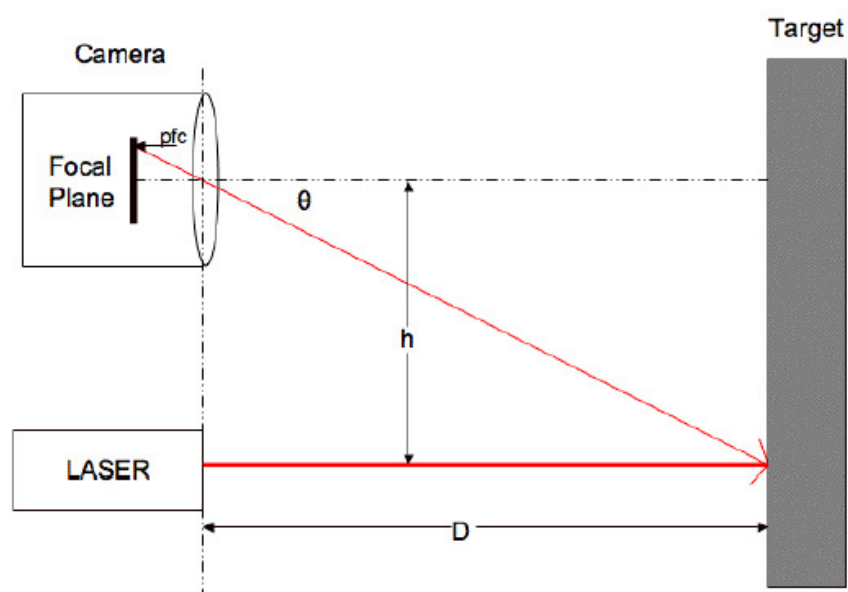


Figura 3.41 Determinarea distanței utilizând laserul (date catalog)

În figura 3.41 este prezentat principiul de măsurare a distanței utilizând laserul, utilizând o diodă laser pentru a emite raza laser care va duce la apariția unui spot laser pe obiectul la care se dorește aflarea distanței. Distanța h este cunoscută, fiind distanța dintre axa razei laser și axa camerei video, în cazul senzorului LRF este de 78mm. Când se modifică distanța D față de obiect se modifică și unghiul θ împreună cu valoarea pfc (pixeli față de axa optică a camerei) care reprezintă numărul de pixeli cu care centrul spotului laser este distanțat față de centrul optic a camerei video.

Îm momentul apropierii obiectului, valoarea pfc (și unghiul θ) crește, pe măsură ce obiectul se depărtează pfc (și unghiul θ) se apropie de zero. Dacă este cunoscut unghiul θ , cu ajutorul unei funcții trigonometrice elementare se poate determina distanța D .

$$\tan\theta = \frac{h}{D} \quad (3.15)$$

De unde se poate determina distanța D:

$$D = \frac{h}{\tan\theta} \quad (3.16)$$

Deoarece funcția de determinare a centrului spotului returnează valoarea pfc este nevoie de o etapă suplimentară pentru a corela această valoare cu unghiul θ :

$$\theta = pfc * rpc + ro \quad (3.17)$$

unde

pfc – numărul de pixeli față de centrul optic al camerei,

rpc – radiani pe pixel

ro – offset radiani (compensare pentru erori de aliniere).

Ecuția devine:

$$D = \frac{h}{\tan(pfc * rpc + ro)} \quad (3.18)$$

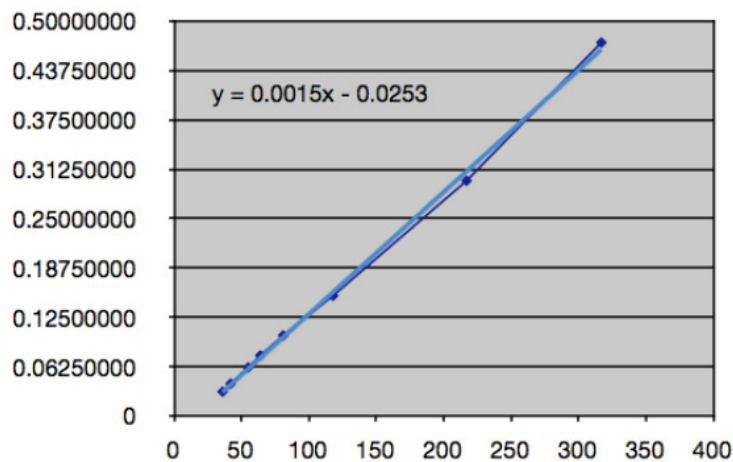


Figura 3.42 Diagrama pentru calculul unghiului funcție de pfc (date catalog)

3.5.1 Caracteristici tehnice

Parallax Laser Range Finder este un modul pentru măsurarea distanțelor care utilizează tehnologia laser pentru a calcula distanța până la obiectul țintă. Este realizat cu ajutorul unui procesor Propeller, un senzor video CMOS și o diodă laser pentru a obține un sistem cât mai ieftin de măsurare a distanței. Măsurarea distanței se realizează cu ajutorul unor formule trigonometrice care triangulează poziția obiectului țintă utilizând poziția diodei laser, poziția senzorului video precum și poziția punctului laser pe țintă.

Caracteristici tehnice:

- este compact, integrând senzorul video CMOS, dioda laser precum și sistemul de calcul;
- are o distanță optimă de detecție 15-122cm cu o eroare mai mică de 5% (în medie 3%);
- distanța maximă de detecție este de 240cm;
- rata de măsurare este de 1Hz;
- comunicarea și alimentarea se face utilizând doar 4 pini;

Caracteristici electrice:

- alimentare 5Vdc, 150mA;
- comunicare serială, asincronă, 300-115200 baud cu detectare automată a vitezei de transmisie;
- dimensiuni modul: 10.05x3.95x1.7cm;
- domeniul de temperatura pentru utilizare: 0 ... +50 grade C;



Figura 3.43 Partea frontală a modulul de măsurare a distanței: dioda laser și camera video



Figura 3.44 Partea posterioară a modulul de măsurare a distanței: circuitul de procesare date

3.5.2 Comunicația cu senzorul

Modulul LRF este controlat utilizând comunicația serială. Pentru utilizarea senzorului, acesta este orientat spre obiectul pentru care dorim să determinăm distanța și se trimite comanda selectată.

Comunicația serială utilizează următorii parametri: 8 biți de date, fără bit de paritate, un bit de stop (8N1). Viteza de comunicație este detectată la inițializarea modulului, când sistemul de comandă trebuie să trimită caracterul "U" iar modulul LRF determină viteza de comunicație (baud rate) și se adaptează acesteia. Vitezele de comunicație suportate sunt: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 38400, 57600 și 115200 baud rate.

În momentul în care modulul LRF este pregătit pentru primirea unei comenzi, va trimite caracterul ":" către sistemul de control. La recepționarea unei comenzi invalide va trimite caracterul "?".

Comenzile acceptate sunt prezentate în tabelul 3.16 (date catalog).

Tabel 3.16

Comenzile de bază	
R	Execută o singură măsurătoare (returnează milimetri, în zecimal, pe 4 digiți)
B	Execută o singură măsurătoare (returnează milimetri, în binar, pe 4 digiți)
L	Repetarea măsurătorii distanței
E	Modifică setările camerei video la condițiile de lumină actuale
S	Resetează camera video la setările inițiale
V	Afișează numărul versiunii firmware-ului.
H	Afișează lista de comenzi disponibile
O	Afișează coordonatele, marimea și centrul spotului laser
X	Calibrarea modulului LRF
G	Captură și transmitere o singură imagine (8biți/pixel, nuanțe de gri, 160x128)
C	Captură și transmitere o singură imagine (16biți/pixel, YUV 422 color, 640x16) cu/fără dioda laser activă
P	Captură și transmitere imagine procesată (16biți/pixel, YUV 422 color, 640x16) cu/fără anularea imaginii de fundal

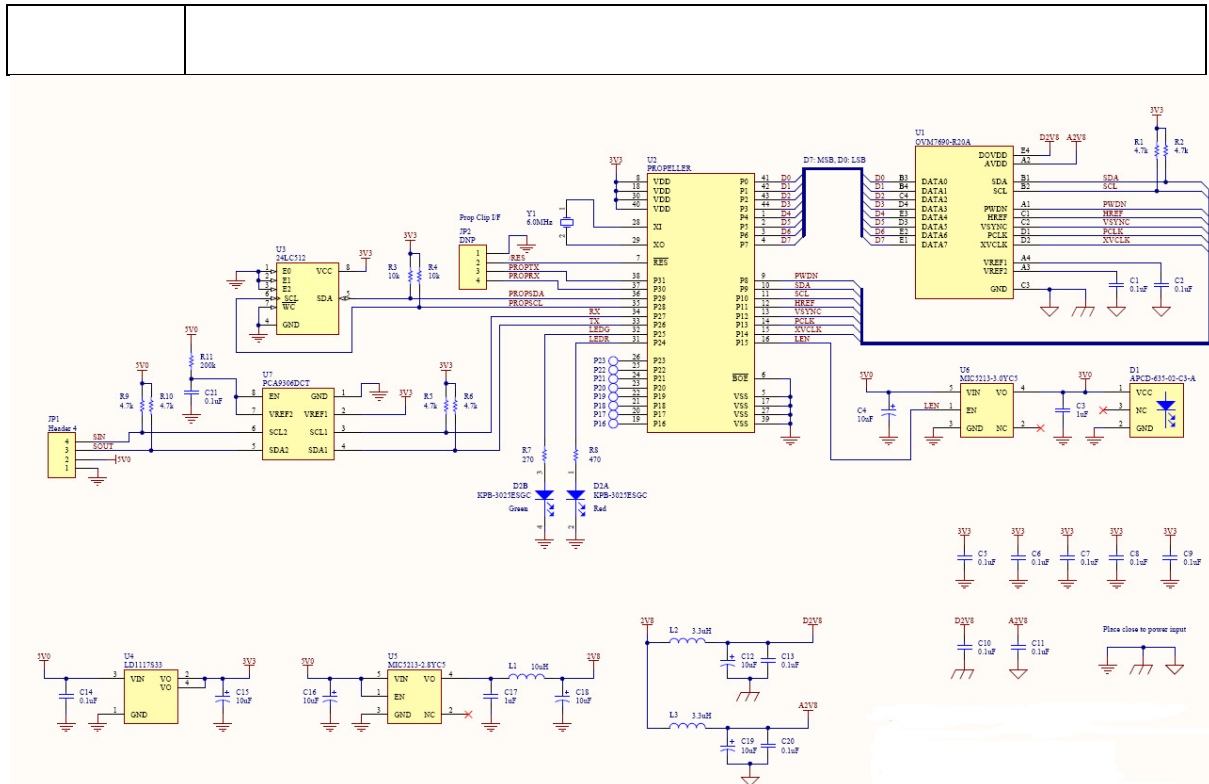


Figura 3.45 Schema electrică a modului LRF Parallax (date catalog)

Camera video OmniVision OVM7690

Rezoluția camerei video este de 640x480 pixeli;

Comunicația se face pe o magistrală de 8 biți;

Ieșirea poate fi unul din standardele: RAW RGB, RGB565, CCIR656, YUV422/YcbCr422.

Procesarea imaginilor și detecția centrului spotului laser

Funcția sistemului LRF este de a salva imaginea prin intermediul camerei video și de a determina poziția spotului laser în imagine. După detectarea spotului laser urmează determinarea centrului acestuia (centrul de greutate al acestui spot), determinarea valorii pfc (numărul de pixeli față de centrul imaginii) și pe urmă cu ajutorul funcțiilor trigonometrice se determina distanța LRF – obiectul pe care este spotul laser.

Pentru detecția, localizarea și măsurarea spotului laser sunt utilizate mai multe etape:

Eliminarea fundalului: se achiziționează două imagini succesive, una cu dioda laser "on" și una cu dioda laser "off". Urmează scăderea celor două imagini, pixel cu pixel, rămânând doar pixelii care sunt diferiți de la o imagine la alta, acești pixeli corespunzând, teoretic, spotului laser.



Figura 3.46 Eliminarea imaginii de fundal, izolarea spotului laser (date catalog)

Accentuarea spotului laser: se compară fiecare pixel din imagine cu o valoare de prag, practic se compară strălucirea fiecărui pixel cu o valoare de prag. Dacă valoarea luminozității pixelului este mai mare de valoarea de prag, pixelul va lua valoarea "1" corespunzând culorii albe, dacă luminozitatea este mai mică pixelul va lua valoarea "0" adică va avea culoarea neagră.



Figura 3.47 Accentuarea spotului laser, comparația cu o valoare de prag (date catalog)

Adunarea coloanelor: se calculează numărul de pixeli care au valoarea "1" pe fiecare coloană rezultând o matrice unidimensională care conține numărul de pixeli "valizi" de pe fiecare coloană. Această sumă a pixelilor valizi ajută la cautarea rapidă a spotului laser în imagine, localizarea acestui spot. În figura de mai jos se poate observa, măbind zona spotului laser, cum se obține matricea de pixeli valizi.

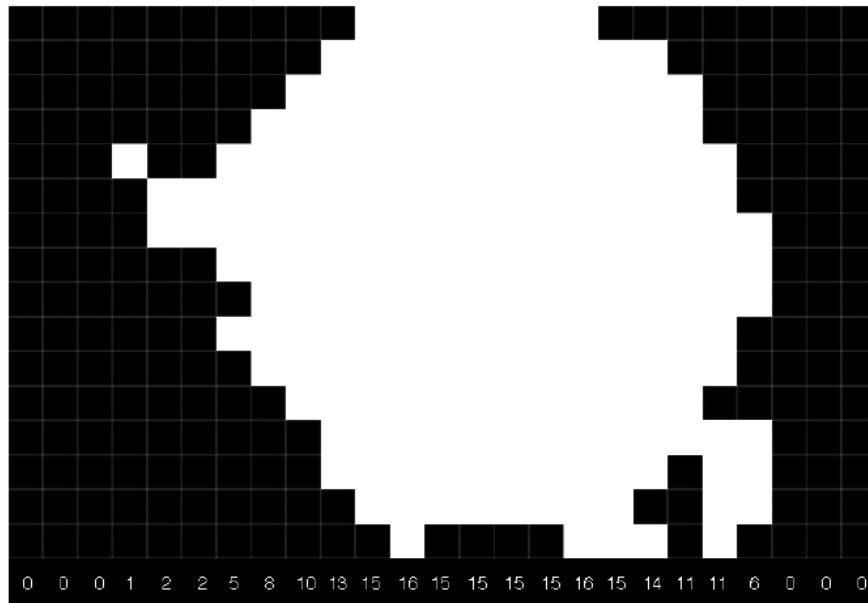


Figura 3.48 Determinarea mărimii spotului laser (date catalog)

Detecția spotului laser: se parcurge matricea unidimensională comparând suma pixelilor de pe coloană cu o valoare de prag. De exemplu, în figura de mai sus, spotul începe de la coloana 7 (care are suma pixelilor valizi de 5) și se termină la coloana 22 (care are suma pixelilor valizi 6). Această etapă se repetă pe întreaga imagine de la stânga la dreapta până la detectarea spotului.

Calcularea centrului spotului: se calculează masa întregului spot laser. Masa este suma tuturor pixelilor valizi din spotul laser. Centrul spotului laser este centrul masei și se calculează prin ponderarea fiecărui pixel valid și mediat cu valoarea totală a masei:

Pentru coloana $l..n$ a spotului

$$sum = 1 * s_1 + (2 * s_2) + \dots + (n * s_n) \quad (3.19)$$

Unde s_n este suma pixelilor valizi de pe coloana n .

Pe urmă calculul centrului spotului:

$$centru = \frac{sum}{masa} \quad (3.20)$$

Efectuând această mediere se obține o localizare mai exactă a centrului spotului față de localizarea centrului spotului la mijlocul spotului detectat deoarece astfel se poate determina centrul spotului și funcție de forma acestui spot.

Dacă se obțin mai multe valori de centru se va considera ca și localizare a centrului prima poziție care reiese din calcul.

Se va considera acea poziție ca și centrul spotului laser, față de care se va calcula valoarea pfc și cu această valoare și poziție se va calcula distanța față de obiect.

3.5.3 Domeniul de măsură și acuratețea măsurătorilor

Acest modul de măsurare a distanței are acuratețea cea mai mare în domeniul de măsurare optim, adică în domeniul 15-122cm. În acest interval, eroarea de măsurare poate varia de la 0% la 5%, având o medie de 3% (conform datelor de catalog).

În acest interval optim de măsurare, poziția spotului laser are modificări ale poziției cele mai mari, astfel se poate măsura mai precis distanța, crescând distanța de măsurare nu se mai obține o deplasare semnificativă a spotului și astfel se obține o valoare mică a pfc și implicit o eroare mai mare la determinarea distanței.

Modulul LRF realizează, intenționat, o limitare a distanței măsurate la maxim 254cm. De asemenea la o distanță mai mică de 15cm spotul laser este poziționat în afara câmpului vizual al camerei video și astfel nu se poate realiza nici o determinare.

Conform datelor de catalog se pot observa în tabelul următor o serie de măsurători precum și erorile calculate, cu specificația că diferă de la un sistem la altul.

Distanța reală (cm)	Distanța determinată (cm)	Diferența	Eroarea %	Distanța reală (cm)	Distanța determinată (cm)	Diferența	Eroarea %
20	19,9	0,1	-0,50	10	9,9	0,1	-1,00
30	29,7	0,3	-1,00	20	20,1	-0,1	0,50
40	40,1	-0,1	0,25	30	30,7	-0,7	2,33
50	50,3	-0,3	0,60	40	40,3	-0,3	0,75
60	60,2	-0,2	0,33	50	48,8	1,2	-2,40
70	70,8	-0,8	1,14	75	70,3	4,7	-6,27
Eroarea medie: 1,14%				Eroarea medie: 2,21%			

Tabel 3.17 Măsurători și erori determinate pentru senzorul laser LRF

3.5.4 Conectarea senzorului la sistemul de dezvoltare Arduino Nano

Deoarece comunicația cu modulul LRF se realizează utilizând interfața serială, conectarea la sistemul de dezvoltare Arduino Nano (sau Arduino Uno) se realizează conectând Sin și Sout direct la pinii 31 (Tx) și 30 (Rx) de la Arduino Nano.

Pentru realizarea comunicației a fost utilizat ca și punct de plecare programul disponibil pe site-ul firmei Parallax pentru conectarea cu sistemul Arduino, programul fiind modificat pentru a fi inclus în sistemul de comandă al sistemului inteligent mobil, pentru a prelua și transmite distanțele determinate către un simulatorul al algoritmilor de navigație de pe calculator.

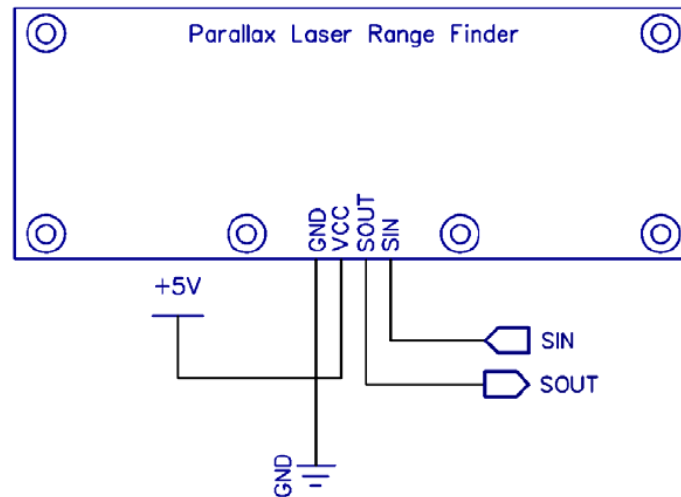


Figura 3.49 Schema de conectare a senzorului laser Parallax

3.5.5 Analiza măsurătorilor pentru unghiuri de incidență diferite

S-au efectuat măsurători pentru obstacole care formează față de axa razei laser unghi de 30° , 45° , 90° , 135° și 150° și cu obstacolul aflat la distanța de 30cm și de 100cm.

La distanța de 30cm

Imagine	Unghi
	30
	45
	90
	135
	150




L	R	Mass	Centroid	Pixeli	D (cm)	Unghi
108	167	752	141	182	29,98	30
114	164	737	140	180	29,98	45

115	161	692	139	181	29,99	90
129	158	475	144	178	30,01	135
148	156	468	147	176	30,02	150

Tabel 3.18 Măsurători pentru unghiuri de incidență diferite la distanța de 30cm

Se poate observa, din tabelul de mai sus, că eroarea este de 0,1mm pentru un unghi de incidență de 45^0 . De asemenea se poate observa forma fascicolului laser care diferă cu unghiul de rotație al obstacolului și conține direcția de rotire. Astfel, senzorul laser (camera video) este situat în partea stângă a senzorului, dioda laser este situată în partea dreaptă. Când rotirea obstacolului este spre camera video și forma fascicolului laser este mai mare față de cazul rotirii obstacolului spre dioda laser. Calculul centrului fascicolului permite determinarea centrului de greutate și este simbolizat cu o linie verticală roșie, este de fapt punctul față de care se măsoară numărul de pixeli și unghiul.

La distanța de 100cm

Imagine	Unghi
	45
	90
	135

L	R	Mass	Centroid	Pixeli	D (cm)	Unghi
250	257	54	253	67	99.47	45
248	260	159	254	66	101.4	90
245	265	292	255	65	103.5	135

Tabel 3.19 Măsurători pentru unghiuri de incidență diferite la 100cm

În cazul măsurătorilor efectuate la o distanță de 100cm față de senzor, conform datelor prezentate în tabelul de mai sus se poate observa că centrul de greutate al fascicolului laser nu are modificări majore, doar câte o unitate, în schimb masa fascicolului are modificări de ordinul 100%-300%. De asemenea rezoluția măsurătorilor scade, practic se ajunge la 2cm ca și unitate de incrementare. Acesta este și motivul pentru care au fost efectuate măsurători doar pentru trei situații diferite.

Aceste erori se datorează numărului limitat de pixeli ai camerei video, în cazul distanțelor mai mici (30cm) pentru o diferență de un pixel corespunde unei distanțe de 1mm,

la distanțe de 60cm rezoluția unui pixel corespunde unei distanțe de aproximativ 10mm iar pentru o distanță măsurată de 100cm rezoluția unui pixel ajunge la 20mm.