



UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I ELEKTRONIKU

Snimanje statičke karakteristike ultrazvučnog senzora HC-SR04

PREDMET:

- PRAKTIKUM AUTOMATIKE I INFORMATIKE -

Tim 5:

Boračić Asija, 18954

Ćatić Hana, 18817

Špago Harun, 18864

Sarajevo, april 2022.g.

Sažetak rada

Rad obuhvata analizu principa rada i primjene ultrazvučnog senzora udaljenosti HC-SR04. Predstavljen je plan mjerenja statičke karakteristike i osnove linearizacije istih. Plan je proveden i na osnovu izvršenih mjerenja je upotrebom MATLAB okruženja aproksimirana kalibraciona i radna prava. Tako određena radna prava je korištena za kreiranje virtuelnog instrument unutar programskog paketa LabView. Ostvaren je naponski izlaz sistema proporcionalan udaljenosti i sveden na opseg izlaza akvizicijske kartice NI. Ispravnost sistema je kasnije eksperimentalno potvrđena.

Abstract

This paper covers analysis of working principles and applications of ultrasonic distance sensor HC-SR04. Static characteristic measurement plan is presented along with basics of linearisation. Said plan was successfully executed. Based on the results calibration function and its inverse were approximated using software package MATLAB. The inverse of calibration function was used to create a virtual instrument using software package LabView. Voltage output signal proportional to the measured distance and reduced to the range of the NI acquisition card was accomplished. System's accuracy was later experimentally verified.



Sadržaj

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Uvod | 1 |
| 1. | Opis problema | 1 |
| 2. | Pregled literature za opisani problem | 1 |
| 2 | O senzoru HC-SR04 | 2 |
| 1. | Analiza principa rada senzora | 2 |
| 2. | Upotreba senzora u realnim aplikacijama | 4 |
| 2.1 | Prednosti i mane | 4 |
| 2.2 | Realne aplikacije | 5 |
| 3 | Organizacija vježbe | 8 |
| 1. | Proračun osjetljivosti senzora | 8 |
| 2. | Shema spajanja sa akvizicijskom karticom | 8 |
| 3. | Napomene prije samog mjerenja | 10 |
| 4. | Plan snimanja radne karakteristike senzora | 12 |
| 5. | Analiza postupaka linearizacije statičke karakteristike senzora | 13 |
| 4 | Mjerenje statičke karakteristike | 15 |
| 1. | Realizacija vježbe | 15 |
| 2. | Mjerni rezultati | 17 |
| 5 | Korišteni algoritam/alat | 18 |
| 1. | Obrada mjernih rezultata | 18 |
| 2. | Razvoj VI u LabView-u | 22 |
| 6 | Simulacijski rezultati | 24 |
| 1. | Postavka simulacije | 24 |
| 2. | Rezultati simulacije | 25 |
| 7 | Eksperimentalni rezultati | 28 |
| 1. | Postavka eksperimenta | 28 |
| 2. | Rezultati eksperimenta | 29 |
| 8 | Zaključak i diskusija | 30 |

Poglavlje 1



Uvod

Sistemi se kreiraju da bi ispunjavali neku funkciju, definisanu algoritmom funkcionisanja objekta. Međutim postoje vanjski neorganizovani utjecaji koji negativno utječu na djelovanje sistema. Iz tog razloga se vrši upravljanje, da bi se mogla ispuniti željena funkcija, a da bi ono bilo moguće potrebne su informacije o trenutnom stanju sistema, procesa, objekta upravljanja. Bez obzira da li je riječ o automatskom ili manuelnom upravljanju ono nije moguće, barem smisleno, ako nema potrebnih informacija. Za dobijanje te radne informacije koriste se mjerni sistemi, senzori. Samo upravljanje ne može biti tačnije od tačnosti i kvaliteta mjernog uređaja. Prirodno je onda zaključiti da je od velike važnosti odabir senzora odnosno mjernog uređaja u skladu sa zahtjevima sistema automatskog upravljanja, a za odabir senzora neophodno je poznavati njegove karakteristike.

1. Opis problema

Problem odabira senzora se svodi na proučavanje parametara kao što su: fizikalni princip rada senzora, mjerni i temperaturni opseg senzora, osjetljivost senzora, oblik izlaznog signala. Na osnovu konkretno zamišljenog sistema se vrši odabir senzora prema navedenim parametrima i ekonomskoj isplativosti. S tim u vezi zadatak se odnosio na manuelno mjerenje statičke karakteristike senzora udaljenosti HC-SR04, na osnovu koje su formirane kalibracione i radne prave, sve u svrhu realizacije virtuelnog instrumenta koji se može koristiti za mjerenje udaljenosti. Bilo je potrebno i omogućiti kontrolu akvizicije preko korisničkog interfejsa, u vidu trajanja akvizicije i broja semplova, te ostvariti izlazni signal čija je amplituda, svedena na opseg izlaza akvizicijske kartice, proporcionalna udaljenosti.

2. Pregled literature za opisani problem

Kako je HC-SR04 veoma popularan senzor koji se često koristi postoji značajan broj relevantnih izvora sa korisnim informacijama o fizikalnom principu rada i upotrebi u realnim aplikacijama. Osnova za izradu ovog rada su predavanja sa predmeta Senzori i mjerenja, Praktikum automatike i informatike sa Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu. Za dodatna pojašnjenja korištene su internet stranice (eng. *Last Minute Engineers*, eng. *Osoyoo*, eng. *Microcontroller Tips*).

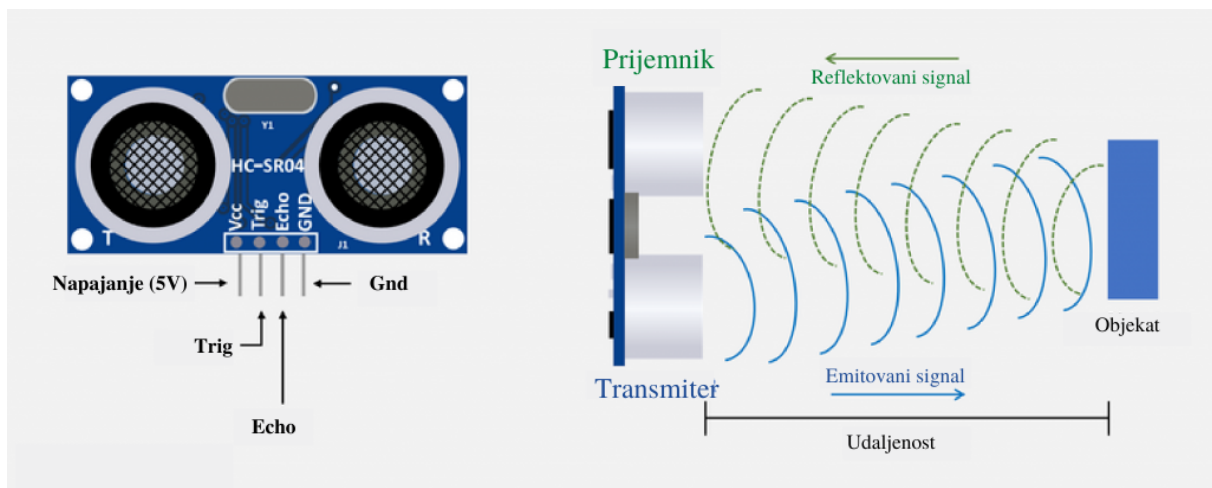
Poglavlje 2



O senzoru HC-SR04

1. Analiza principa rada senzora

Fizikalni princip rada ultrazvučnog senzora je zasnovan na emitovanju zvučnih talasa i mjerenju vremena od tog trenutka do trenutka prijema reflektovanog signala [1], slično kako to rade šišmiši, delfini ili još neke životinjske vrste. Ovaj osnovni koncept je prikazan slici 1.1, kao i izgled senzora i njegovi pinovi. Senzor se sastoji od transmitera, prijemnika i četiri pina.



Slika 2.1: Prikaz pinova ultrazvučnog senzora HC-SR04 i principa rada senzora [2]

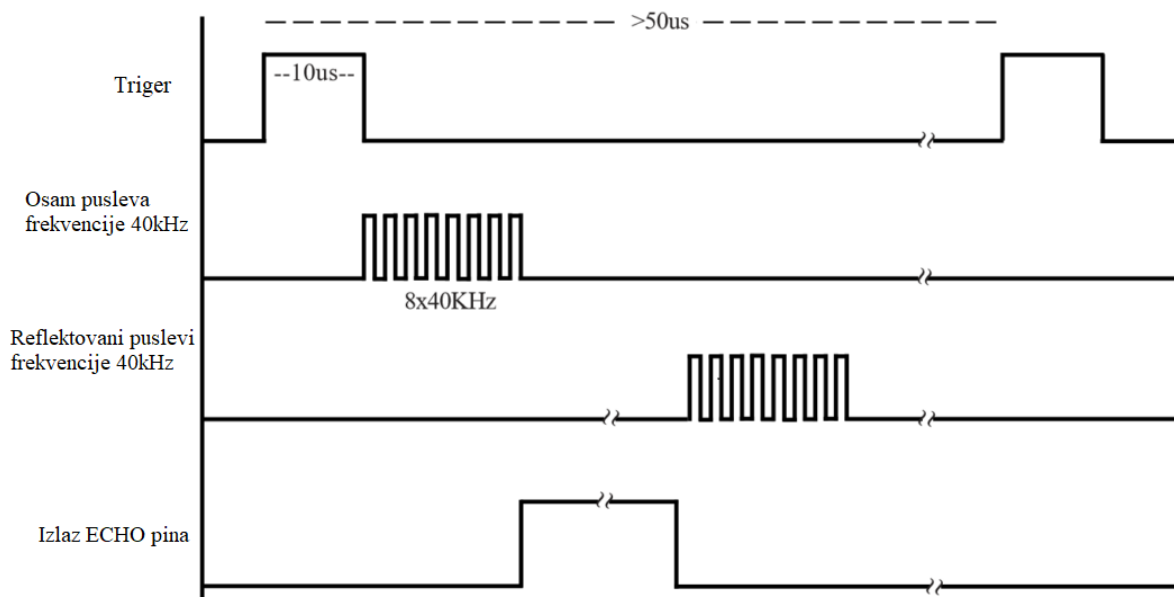
Pregled pinova ultrazvučnog senzora HC-SR04:

- Vcc - pin na koji se dovodi napon napajanja od 5V,
- Trig - pin kojim se okida emitovanje ultrazvučnog talasa, odnosno ulaz senzora,
- Echo - pin na kojem se dobija naponski izlazni signal čija je dužina trajanja proporcionalna vremenu koje je bilo potrebno da se detektuje reflektovani talas nakon što je emitovan,
- GND - referentna tačka, ground.

Ovaj senzor započinje emitovanje ultrazvučnih talasa frekvencije 40kHz, odnosno osam pulseva, u trenutku kada se na ulaz (trig pin) dovede impuls dužine trajanja $10\mu s$. Osam emitovanih pulseva zapravo omogućava da prijemnik razlikuje talas koji je senzor emitovao od

drugih ultrazvučnih talasa iz okoline. Potom će se na echo pinu, izlazu, kada transmitter završi sa emitovanjem pulseva, naponski signal trenutno povećati na 5V, i ostati na toj vrijednosti sve dok prijemnik ne registruje reflektovani talas, kada se signal na izlazu vrati na 0V, što u suštini znači da je izlazni signal u obliku pulsa, čija je dužina trajanja proporcionalna vremenu koje bilo potrebno da prijemnik primi reflektovani signal. Bitno je pomenuti da u slučaju da senzor ne primi reflektovani talas do isteka 38ms to implicira da u opsegu dometa senzora nema prepreka [3].

Na slici 2.2 prikazani su pomenuti signali: signal koji se dovodi na trig, signal koji potom emituje transmitter, signal koji detektuje prijemnik i izlazni signal sa echo pina.



Slika 2.2: Signali koji se dovode na ulaz senzora i signal koji se dobija na izlazu senzora [4]

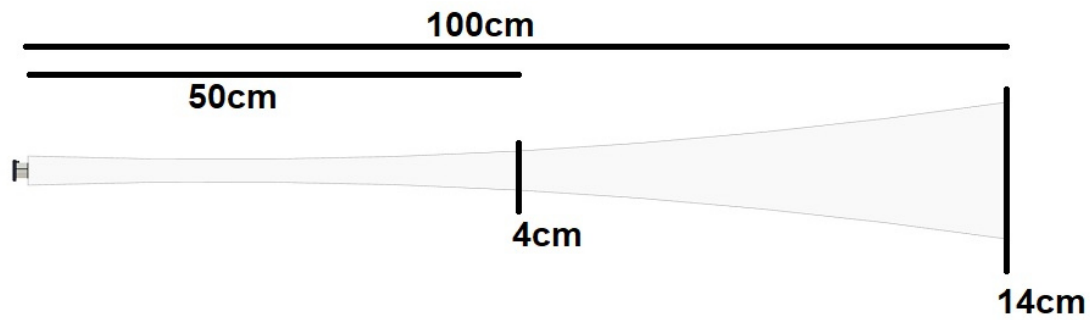
Iz navedenog slijedi da je izlaz senzora naponski, s time što je dužina impulsa signala proporcionalna udaljenosti, umjesto amplitude kao što bi možda bilo očekivano. Najčešće su primjene u kojima se očitavanje i dalja obrada, često zarad daljeg generisanja upravljanja, vrše preko mikrokontrolera poput Arduina, gdje je moguće mjeriti vrijeme pulsa. Na osnovu dobijenog vremena se udaljenost proračunava kao:

$$x = \frac{t \cdot v}{2} \quad (2.1)$$

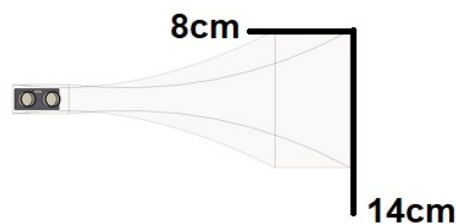
Gdje je t - vrijeme između emitovanja i prijema talasa, v - brzina prostiranja ultrazvučnih talasa, a obzirom da dva put prelazi isti put potrebno je podijeliti sa dva.

Pored ovog impulsnog režima rada, koji ima loš odnos signala i šuma, postoje još dvije metode, metod mjerenja faznog pomaka i metod frekvencijske modulacije. Prvi metod se odnosi na mjerenje faznog pomaka između odaslanog i primljenog signala, iako ima bolju otpornost na šumove, nije ga moguće koristiti direktno za udaljenosti veće od polovine talasne dužine ultrazvučnog talasa. Drugi metod se odnosi na proračun udaljenosti iz razlike frekvencija odaslanog i primljenog signala, bitno je napomenuti da je neupotrebljiv za udaljenosti manje od talasne dužine [1].

Mjerni opseg ovog senzora je od 2 do 400cm. Potrebno je obratiti pažnju i na opseg i ugao detekcije koji je kod ovog senzora 15°, kao što je prikazano na slici 2.3.



Snop zvučnog talasa koji emituje senzor s boka



Snop zvučnog talasa koji emituje senzor sprijeda

Slika 2.3: Signali koji se dovode na ulaz senzora i signal koji se dobija na izlazu senzora [5]

2. Upotreba senzora u realnim aplikacijama

2.1 Prednosti i mane

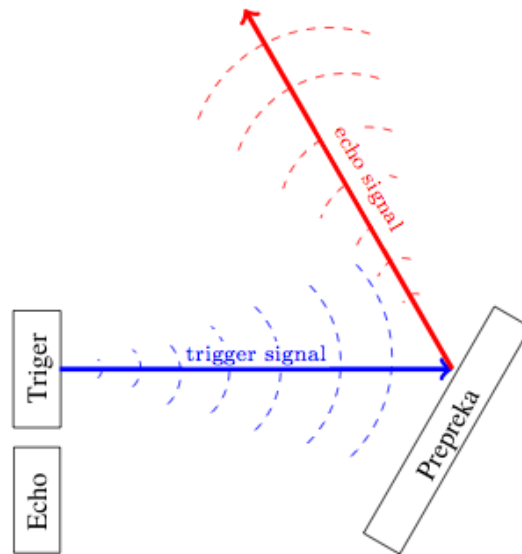
U nastavku će biti prikazane osnovne karakteristike ultrazvučnog senzora. Prednosti ovog senzora su [6][4]:

- za realizaciju ovog senzora nisu potrebni rijetki materijali (za realizaciju transmitera i prijemnika koriste se piezoelektrične pločice), stoga imaju pristupačne cijene,
- boja objekta od koji se talas reflektuje ne utječe na rezultate, uključujući prozirne objekte poput vode i stakla,
- otporni su na većinu šumova iz okoline, pa čak i zvučne talase iz okoline,
- mogu izvršiti veći broj mjerenja u jednoj sekundi i daju konzistentne rezultate,
- u poređenju sa infracrvenim senzorima, infracrveni dio spektra sunčeve svjetlosti ne utječe na rad ultrazvučnog senzora.

Nedostaci ovog senzora su [6][3]:

- obzirom da je potreban medij za prenošenje zvučnih talasa, ovi senzori ne rade u vakuumu,

- brzina zvuka ovisi od temperature i vlažnosti, stoga promjena uslova u kojim radi može dovesti do nepouzdanosti rezultata, ako dato nije uzeto u obzir,
- unatoč tome što je zona detekcije trodimenzionalna, ovaj senzor može samo da detektuje objekat na određenoj udaljenosti, ali ne i da da dodatne informacije o tome gdje se u zoni detekcije nalazi objekat ili o njegovoj boji ili obliku,
- situacije u kojima je reflektivna površina objekta postavljena tako da talas neće biti reflektovan ka senzoru također dovode do netačnih rezultata, prikazano na slici 2.4,



Slika 2.4: Primjer u kojem je položaj prepreke takav da reflektovani talas ne odbija ka prijemniku [4]

- do problema dolazi i ako se objekat nalazi van opsega,
- problem nastaje i onda kada se talas reflektuje od neku udaljenu površinu i ne bude detektovan prije isteka 38ms, već nakon što je emitovan novi set impulsa, uzrokujući da izmjerena veličina ne bude tačna,
- objekat može biti previše mali da bi se talas reflektovao od njega,
- udaljenost od objekata koji imaju neravnu površinu ili su napravljeni od mekih materijala koji ne reflektuju već apsorbuju zvuk može biti teško izmjeriti.

2.2 Realne aplikacije

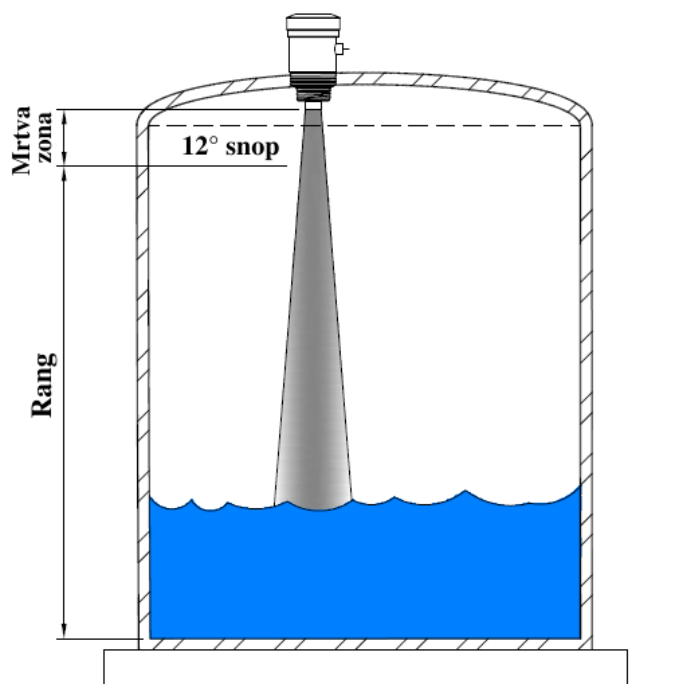
Zbog svoje jednostavnosti ovaj senzor nalazi dosta primjena za mjerenje nivoa tečnosti, detekciju prepreka kod robota ili za parkiranje vozila, također mjerenje protoka. Unatoč tome ako je stacionaran ne može detektovati oblik i dimenzije objekta koji se nalazi u njegovom opsegu, ako rotira oko njega ovo je moguće. Još jedna interesantna primjena jesu alarmni sistemi, protiv krađa na primjer u stanovima [8].

Mjerenje nivoa

Odbijanje ultrazvučnih talasa od razdvojne površine između dva fluida, neovisno o transparentnosti i boji se primjenjuje u tehnikama mjerenja nivoa. Izmjereni nivo će biti proporcionalan vremenu koje je potrebno da talas pređe od izvora do prijemnika. Ako je H visina spremnika, t vrijeme koje talas putuje i v brzina ultrazvučnog talasa, nivo u spremniku je:

$$h = H - \frac{t \cdot v}{2} \quad (2.2)$$

Primjer postavljanja senzora je dat na slici 2.5.



Slika 2.5: Primjena ultrazvučnog senzora za mjerenje nivoa [7]

Osim nivoa fluida može se koristiti i za mjerenje nivoa sitnozrnastih materijala, s time što treba posebnu pažnju obratiti da senzor registruje nivo najmirnijeg dijela i da se snop ultrazvučnih talasa pravilno usmjeri.

Prilikom montiranja senzora na spremnik potrebno je:

1. zaštititi ga od sunca,
2. montirati ga niti u centru, niti iznad utoka tečnosti i sa dovoljno udaljenosti od stijenke spremnika (da ne bi došlo do detektovanja zraka odbijenih od stijenke umjesto onih reflektovanih od razdjelne površi),
3. druge instalacije unutar samog spremnika ne smiju se nalaziti unutar ultrazvučnog snopa (ponovo iz sličnih razloga, da ne bi davao pogrešne rezultate),
4. obratiti pažnju na to da pjena koja se može stvarati na površini može apsorbirati ultrazvučne talase što predstavlja grešku mjerenja. [2]

Navigacija bespilotnih letjelica

Za navigaciju kretanja kroz prostor dronovi i bespilotne letjelice mogu koristiti ultrazvučne senzore. Koriste ih kako za detekciju prepreka, tako i kod polijetanja slijetanja odnosno kretanje i distancu od tla [4]. Na slici 2.6 prikazan je primjer detekcije prepreka.



Slika 2.6: Primjena ultrazvučnog senzora za detekciju prepreka tokom leta kod bespilotnih letjelica [4]

Jedan od problema na koji se nailazi jesu turbulencije zbog vjetra kroz koje ultrazvučni talas mora proći, na taj način mijenjajući smjer i intenzitet zvučnog talasa na nepredvidljive načine. Stoga senzor ne bi trebalo postavljati tako da nalazi u struji zraka uzrokovanom vrtnjom rotora odnosno propelera [9].

Na sličan način može raditi i u sistemima za parkiranje u automobilima. Tu postoje senzori na prednjem i zadnjem dijelu automobila koji treba da detektuju udaljenost od drugih objekata u njegovoj okolini i tu informaciju proslijede, najčešće u nekom vizuelnom i zvučnom obliku vozaču koji dalje provodi upravljanje.

U oba slučaja kretanje je kontinualano i trenutno, a kako ovakvi ultrazvučni senzori imaju dosta brz odziv dobro su rješenje.

Poglavlje 3



Organizacija vježbe

1. Proračun osjetljivosti senzora

Osjetljivost senzora definiše se kao odnos priraštaja izlazne veličine O i priraštaja ulazne mjerene veličine I , odnosno kao promjena izlazne vrijednosti u zavisnosti od promjene mjerene vrijednosti $[1]$, što opisuje sljedeća relacija :

$$S = \frac{dO}{dI} \quad (3.1)$$

Kada je ultrazvučni senzor udaljenosti u pitanju, te veličine su vrijeme (ulaz) i udaljenost (izlaz), pa se osjetljivost senzora može izraziti relacijom :

$$S = \frac{dx(t)}{dt} \quad (3.2)$$

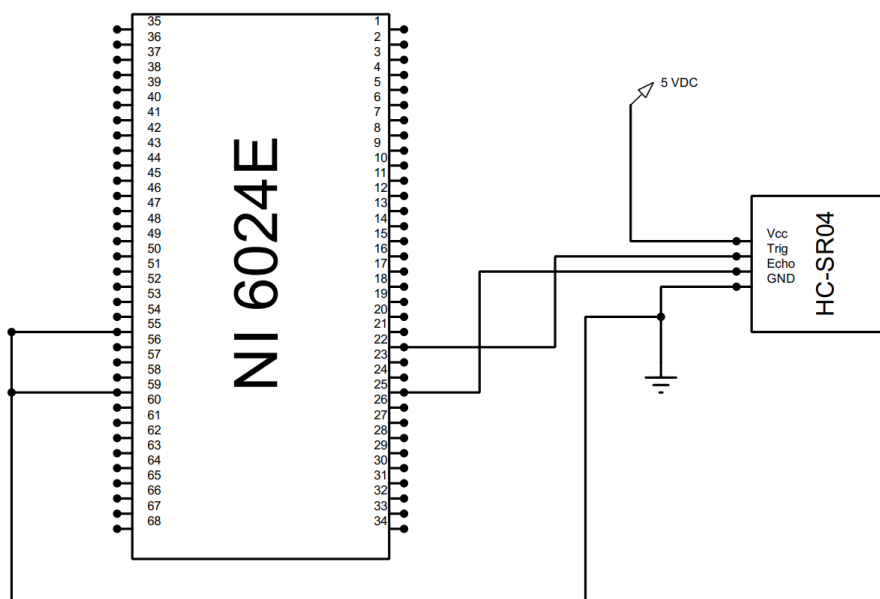
Iz relacije za udaljenost (2.1), slijedi da je relacija za osjetljivost senzora :

$$S = \frac{v}{2} \quad (3.3)$$

Može se primijetiti da je izraz za osjetljivost konstantan, obzirom da je brzina kretanja zvuka na sobnoj temperaturi (što se smatra da je pri laboratorijskim uslovima) konstantna i iznosi približno $340 \frac{m}{s}$. Ovo znači da je statička karakteristika razmatranog senzora **linearna**.

2. Shema spajanja sa akvizicijskom karticom

Sama shema koja će biti korištena za spajanje senzora HC-SR04 sa akvizicijskom karticom je 'trivijalna'. Za napajanje samog senzora bit će korišten istosmjerni izvor napajanja podešen na 5 V. Kao što je prikazano na slici 3.1, trig pin senzora je priključen na pin 22 akvizicijske kartice koji predstavlja analogni izlaz, dok je echo pin priključen na pin 25, tj. analogni kanal 6, koji predstavlja analogni ulaz. Pin 59 predstavlja masu za analogni ulazni kanal 6, dok pin 55 predstavlja masu za analogni izlaz na kanalu 0, i oni su kratko spojeni za masu sheme, tj. negativni pol DC izvora.



Slika 3.1: Shema spoja senzora sa akvizicijskom karticom NI 6024E

Za bolje razumijevanje same sheme i šta je gdje priključeno, na slici 3.2 je prikazan raspored pinova akvizicijske kartice NI 6024E, pri čemu je i naznačeno šta koji pin predstavlja.

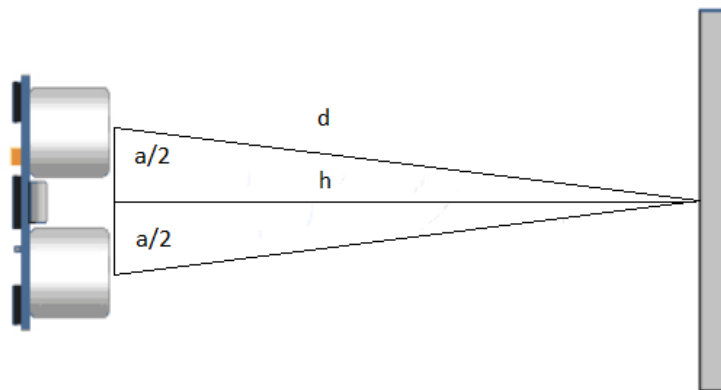
| | | | |
|------------------|----|----|--------------------|
| ACH8 | 34 | 68 | ACH0 |
| ACH1 | 33 | 67 | AI/GND |
| AI/GND | 32 | 66 | ACH9 |
| ACH10 | 31 | 65 | ACH2 |
| ACH3 | 30 | 64 | AI/GND |
| AI/GND | 29 | 63 | ACH11 |
| ACH4 | 28 | 62 | AI/SENSE |
| AI/GND | 27 | 61 | ACH12 |
| ACH13 | 26 | 60 | ACH5 |
| ACH6 | 25 | 59 | AI/GND |
| AI/GND | 24 | 58 | ACH14 |
| ACH15 | 23 | 57 | ACH7 |
| DAC0OUT1 | 22 | 56 | AI/GND |
| DAC1OUT1 | 21 | 55 | AO/GND |
| RESERVED | 20 | 54 | AO/GND |
| DIO4 | 19 | 53 | DGND |
| DGND | 18 | 52 | DIO0 |
| DIO1 | 17 | 51 | DIO5 |
| DIO6 | 16 | 50 | DGND |
| DGND | 15 | 49 | DIO2 |
| +5 V | 14 | 48 | DIO7 |
| DGND | 13 | 47 | DIO3 |
| DGND | 12 | 46 | SCANCLK |
| PF10/TRIG1 | 11 | 45 | EXTSTROBE* |
| PF11/TRIG2 | 10 | 44 | DGND |
| DGND | 9 | 43 | PF12/CONVERT* |
| +5 V | 8 | 42 | PF13/GPCTR1_SOURCE |
| DGND | 7 | 41 | PF14/GPCTR1_GATE |
| PF15/UPDATE* | 6 | 40 | GPCTR1_OUT |
| PF16/WFTRIG | 5 | 39 | DGND |
| DGND | 4 | 38 | PF17/STARTSCAN |
| PF18/GPCTR0_GATE | 3 | 37 | PF18/GPCTR0_SOURCE |
| GPCTR0_OUT | 2 | 36 | DGND |
| FREQ_OUT | 1 | 35 | DGND |

Slika 3.2: Raspored i značenje pinova na akvizicijskoj kartici NI 6024E [10]

3. Napomene prije samog mjerenja

Prije nego što se pristupi samom mjerenju u laboratoriji, potrebno je skrenuti pažnju na stvari koje bi mogle da stvaraju nedoumice tokom mjerenja i prave grešku.

Na slici 3.3 prikazani su elementi za generiranje i primanje zvučnog signala tj. odašiljač(transmitter) i prijemnik, za analizu u nastavku teksta potpuno je svejedno koji od sivih elemenata na slici se posmatra kao odašiljač, a koji kao prijemnik. Na slici 3.3, vrijednost a predstavlja udaljenost između osa elemenata, d predstavlja dužinu bočne stranice trokuta, dok h predstavlja visinu trokuta.



Slika 3.3: Prikaz trougla kojeg čine transmitter i prijemnik

Pošto zvučni signal, kada bude trigeroan ide po bočnoj stranici trokuta to znači da zvučni talas uopće ne prelazi minimalnu udaljenost od senzora do objekta, nego pravi nešto dulju putanju, pa se na echo pinu dobija impuls čije trajanje neće odgovarati udaljenosti objekta od senzora nego duploj dužini bočne stranice trokuta, koju čine elementi za primanje i generisanje zvučnih talasa. Za potrebe mjerenja od interesa je h visina trokuta, jer ona predstavlja udaljenost između senzora i objekta. Visina jednakokrakog trokuta se računa kao:

$$h = \sqrt{d^2 - \frac{a^2}{4}} \quad (3.4)$$

i ona predstavlja tačnu udaljenost objekta od senzora. Za daljnju analizu promatrat će se i relativna greška senzora.

$$g_{rel}(\%) = \left(\frac{d-h}{h} \right) \cdot 100\% \quad (3.5)$$

$$g_{rel}(\%) = \left(\frac{d}{h} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (3.6)$$

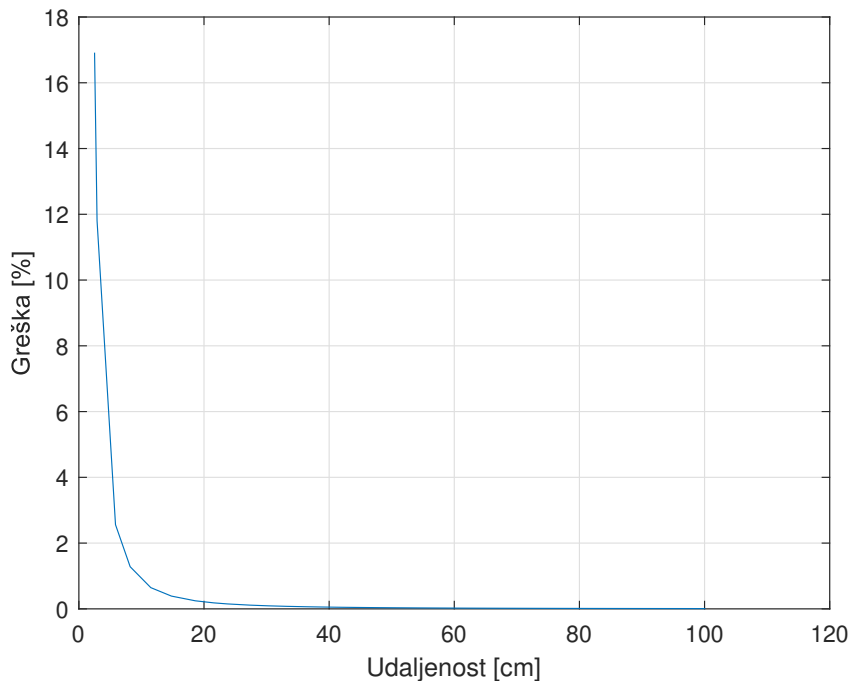
$$g_{rel}(\%) = \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 - \frac{a^2}{4}}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (3.7)$$

Jednakost 3.7 je jako interesantna jer se njenom analizom može shvatiti ponašanje greške nastale usljed problema trougla. Da bi se ispoštovala matematika potrebno je uzeti u obzir definiciono područje izraza 3.7, tj. činjenicu da je ovaj izraz definisan samo za d veće od $a/2$

$$\lim_{d \rightarrow 0} g_{rel}(\%) = \lim_{d \rightarrow (\frac{a}{2})_+} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 - \frac{a^2}{4}}} - 1 \right) \cdot 100\% = +\infty \quad (3.8)$$

$$\lim_{d \rightarrow +\infty} g_{rel}(\%) = \lim_{d \rightarrow +\infty} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 - \frac{a^2}{4}}} - 1 \right) \cdot 100\% = 0\% \quad (3.9)$$

Jednakosti 3.8 i 3.9 pokazuju ponašanje greške, tj. da kako se udaljavamo od senzora greška je sve manja i manja, što znači da je potvrđeno ono što je navedeno u samim specifikacijama senzora. Važno je još naglasiti da izraz 3.8 ne znači da greška doslovce ide u beskonačnost nego da je njena vrijednost nedefinisana, na slici 3.4 se može vidjeti da greška ima asimptotu upravo u tački $a/2$, kao i to da sa povećanjem udaljenosti ona konvergira ka 0.

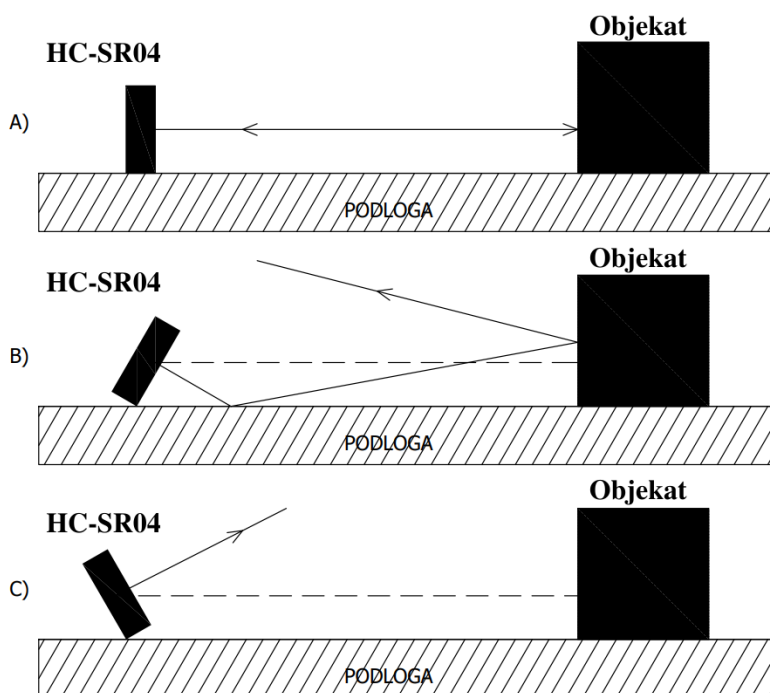


Slika 3.4: Ponašanje greške

Sa slike 3.4 se vidi da problem trokuta unosi značajnu grešku u mjerenju pa ju je prije samog mjerenja potrebno imati na umu, te izvršiti odgovarajuće korekcije rezultata mjerenja.

Za kraj još jedna napomena, a ona je vezana za položaj senzora u odnosu na podlogu tokom mjerenja (slika 3.5). Jako je važno da je senzor okomit na površinu na kojoj se nalaze on i prepreka (slučaj pod A sa slike 3.5), jer u suprotnom možemo imati slučaj da zvučni talasi podbace, senzor nagnut ka stolu (slučaj pod B), odnosno da prebace, tj. senzor i podloga prave tupi ugao (slučaj pod C). U najboljem slučaju ako se napravi ovakva greška, rezultat mjerenja će mnogo odstupati te će kao takav moći biti zanemaren. U suprotnom, ako senzor bude nepravilno podešen, a vrati neku 'smislenu' vrijednost tj. vrijednost za koju se ne može na prvu reći da dosta odstupa od onoga što se očekuje, ona kao takva će praviti problem i grešku u mjerenju i daljnjoj obradi rezultata mjerenja.

Iz sličnih razloga će biti korištena prepreka sa ravnom i tvrdom površinom - da ne bi došlo do takvog odbijanja talasa da reflektovani talas nikada ne stigne do prijemnika ili apsorbovanja talasa. Također bit će potrebno osigurati da nema drugih objekata unutar opsega vidljivosti senzora.



Slika 3.5: Prikaz položaja senzora u odnosu na podlogu

4. Plan snimanja radne karakteristike senzora

Za realizaciju snimanja karakteristike senzora pored samog senzora i NI 6024E akvizicijske kartice, spojenih prema slici 3.1, bit će potrebni i odgovarajuća prepreka od koju će se zvučni talasi odbijati te maketa sa naznačenim udaljenostima. Za potrebe eksperimenta prilikom snimanja karakteristike bit će snimana karakteristika samo za opseg udaljenosti od 2 - 100 cm. U Tabeli 3.1 su prikazane udaljenosti za koje će biti mjereno vrijeme putovanja zvučnih talasa. Prilikom mjerenja bit će korišten korak od 3 cm. Također, bit će izvršena dva seta mjerenja i to:

1. prvi set - koji predstavlja uzlaznu putanju tj. od 2 do 100 cm,
2. drugi set - koji predstavlja silaznu putanju tj. od 100 do 2 cm.

Na osnovu rezultata ova dva seta mjerenja u koloni Δ mjerenja bit će prikazane razlike u očitavanju mjerenih rezultata, te će na osnovu tih vrijednosti biti donešen zaključak o tome da li ovaj senzor ima **histerezu**, pri čemu po samoj prirodi senzora, očekivani rezultat je da ovaj senzor **neće imati histerezu**, odnosno da će imati jako malu vrijednost histreze.

Pored svega ovoga u Tabeli 3.1, u koloni očekivano vrijeme izračunata su vremena koja bi ovaj senzor trebao da daje kada bi bio idealan, i kada bi brzina putovanja samih zvučnih talasa iznosila $340 \frac{m}{s}$, odnosno $0.034 \frac{cm}{\mu s}$, kao i korigovana vremena uzimajući uobzir put koji zvučni talas zapravo prelazi.

Tabela 3.1: Tabela sa prikazom očekivanih rezultata mjerenja

| Udaljenost (cm) | Udaljenost koju talas prelazi (cm) | Idealno vrijeme (us) | Korekcija očekivanog (us) | Prvi set mjerenja uzlazna putanja (od 2 do 100cm) | Drugi set mjerneje silazna putanja (od 100 do 2cm) | Srednja vrijednost izmjerenog vremena (us) |
|-----------------|------------------------------------|----------------------|---------------------------|---|--|--|
| 2 | 2.385372088 | 117.647 | 140.316 | | | |
| 3 | 3.269556545 | 176.471 | 192.327 | | | |
| 6 | 6.139218191 | 352.941 | 361.130 | | | |
| 9 | 9.093404203 | 529.412 | 534.906 | | | |
| 12 | 12.07021127 | 705.882 | 710.012 | | | |
| 15 | 15.05622795 | 882.353 | 885.660 | | | |
| 18 | 18.04688339 | 1058.824 | 1061.581 | | | |
| 21 | 21.04019962 | 1235.294 | 1237.659 | | | |
| 24 | 24.03518255 | 1411.765 | 1413.834 | | | |
| 27 | 27.03127818 | 1588.235 | 1590.075 | | | |
| 30 | 30.02815346 | 1764.706 | 1766.362 | | | |
| 33 | 33.02559613 | 1941.176 | 1942.682 | | | |
| 36 | 36.02346458 | 2117.647 | 2119.027 | | | |
| 39 | 39.02166065 | 2294.118 | 2295.392 | | | |
| 42 | 42.02011423 | 2470.588 | 2471.771 | | | |
| 45 | 45.01877386 | 2647.059 | 2648.163 | | | |
| 48 | 48.01760094 | 2823.529 | 2824.565 | | | |
| 51 | 51.01656594 | 3000.000 | 3000.974 | | | |
| 54 | 54.01564588 | 3176.471 | 3177.391 | | | |
| 57 | 57.01482263 | 3352.941 | 3353.813 | | | |
| 60 | 60.01408168 | 3529.412 | 3530.240 | | | |
| 63 | 63.01341127 | 3705.882 | 3706.671 | | | |
| 66 | 66.01280179 | 3882.353 | 3883.106 | | | |
| 69 | 69.01224529 | 4058.824 | 4059.544 | | | |
| 72 | 72.01173515 | 4235.294 | 4235.984 | | | |
| 75 | 75.01126582 | 4411.765 | 4412.427 | | | |
| 78 | 78.01083258 | 4588.235 | 4588.873 | | | |
| 81 | 81.01043143 | 4764.706 | 4765.319 | | | |
| 84 | 84.01005892 | 4941.176 | 4941.768 | | | |
| 87 | 87.0097121 | 5117.647 | 5118.218 | | | |
| 90 | 90.0093884 | 5294.118 | 5294.670 | | | |
| 93 | 93.00908558 | 5470.588 | 5471.123 | | | |
| 96 | 96.00880168 | 5647.059 | 5647.577 | | | |
| 100 | 100.0084496 | 5882.353 | 5882.850 | | | |

5. Analiza postupaka linearizacije statičke karakteristike senzora

Prije nego što bude data riječ o obliku karakteristike senzora HC-SR04, bit će u par rečenica opisan način linearizacije karakteristika općenito. U slučaju dobivanja nelinearne statičke karakteristike senzora, kako bi rad sa istim bio što lakši, najpogodnije je izvršiti linearizaciju iste. Linearizacija se može vršiti na dva načina : hardverski i softverski. U nastavku će se razmotriti softversko vršenje linearizacije karakteristike uz pomoću alata Curve Fitting Tool, dostupnog u sklopu programskog paketa MATLAB.

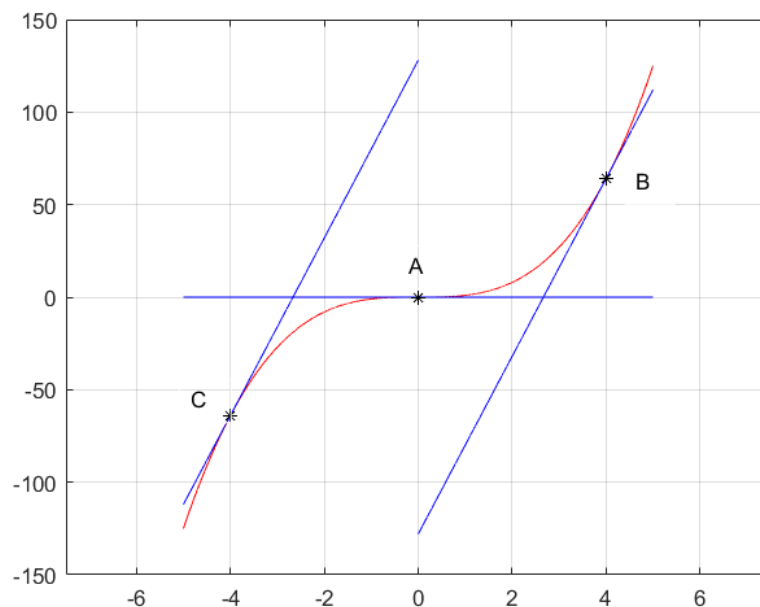
Proces linearizacije može se izvršiti na sljedeći način:

- Podatke o mjerenjima za snimanje statičke karakteristike treba unijeti u okruženje MATLAB,
- Iscrtati karakteristiku u MATLABu i proanalizirati njen izgled, te odabrati da li će se linearna aproksimacija vršiti na : cijelom opsegu, dio po dio ili će se odabrati određeni opseg gdje je karakteristika najbliža linearnoj, a ostali dio odbaciti,
- Odabrati Curve Fitting Tool,
- Podesiti varijable od interesa i njihov opseg,
- Odabrati željeni tip jednačine za aproksimaciju (npr. linearna, polinomska),
- Provjeriti da li je taj tip najbolja aproksimacija dobivene karakteristike, najbolje je isprobati još par tipova pa odabrati oblik gdje imamo najmanje odstupanja.

Osim ovoga metoda, u slučaju kada imamo nelinearnu karakteristiku, tj. ako se aproksimacija karakteristike mora vršiti funkcijom višeg reda, linearizaciju možemo izvršiti po dijelovima tako da funkciju oko odabranih tačaka predstavimo razvojem u Taylorov red, pri čemu uzimamo u obzir prva dva člana reda. Takvu aproksimaciju opisuje sljedeća relacija:

$$f(x) \approx f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \cdot (x - x_0) \quad (3.10)$$

a može se lako realizovati uz pomoć softverskih alata poput MATLABa i WolframAlphe. Jedan primjer takve aproksimacije ilustruje slika 6.1., gdje se može uočiti potpuno poklapanje funkcije i aproksimacije u okolini svake od tri tačke A, B i C.



Slika 3.6: Primjer linearizacije za funkciju $f(x) = x^3$

Za senzor HC-SR04 očekivano je da karakteristika ima **linearan** oblik te da neće biti potreban nikakav alat sem Curve Fitting Tool-a za dobijanje iste.

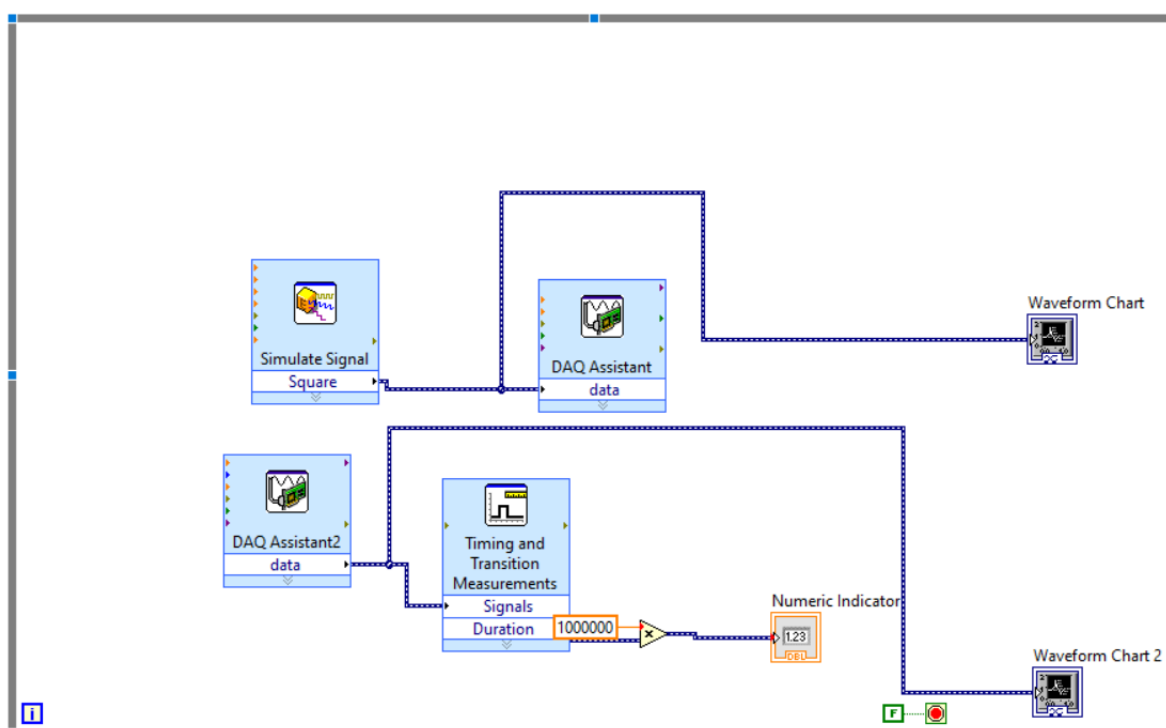
Poglavlje 4



Mjerenje statičke karakteristike

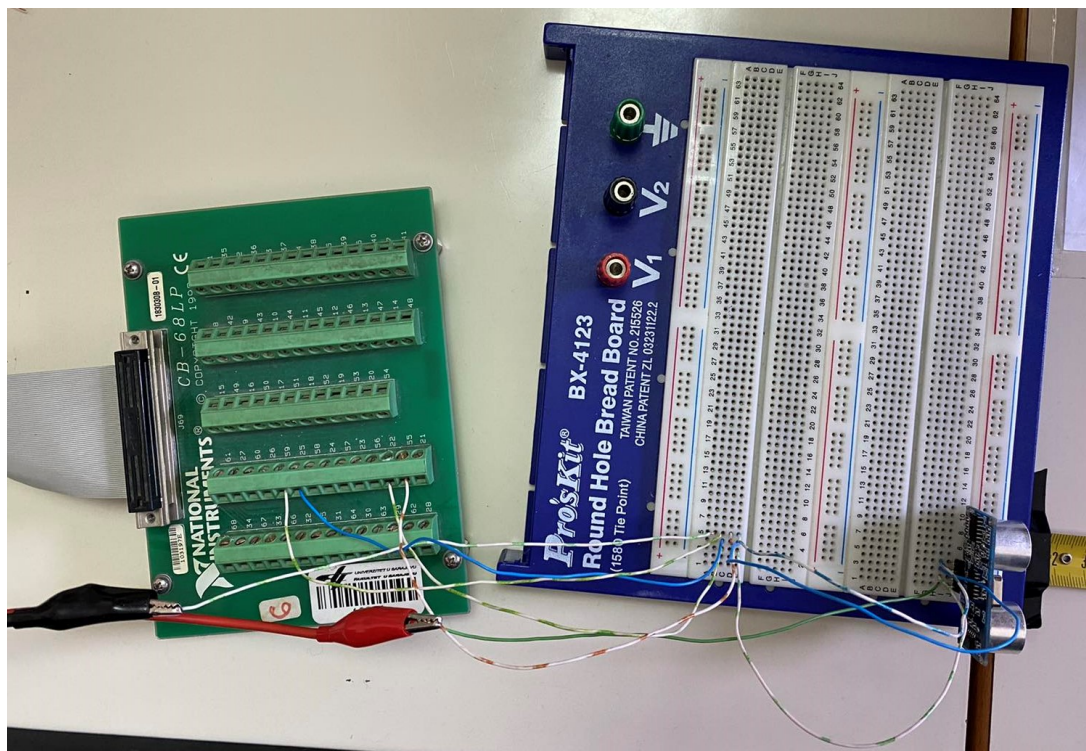
1. Realizacija vježbe

Za potrebe snimanja statičke karakteristike senzora softverskim putem neophodno je bilo koristiti neki od softverskih alata koji omogućavaju kreiranje sistema za mjerenje, testiranje i kontrolu. Odabran je LabView zbog postojećih blokova koji olakšavaju rad sa NI karticom (eng. *DAQ Assistant*) i omogućavaju jednostavno mjerenje vremena (eng. *Timing and Transition Measurement*). Osim toga jednostavno se kreira veza između blok dijagrama koji predstavlja dio u kojem se vrši programiranje virtuelnog instrumenta - skraćeno VI, i samog interfejsa koji se koristi za komunikaciju, unošenje i prikaz podataka. Izgled blok dijagrama korištenog za snimanje prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1: Prikaz blok dijagrama VI u LabViewu korištenog za mjerenje

Osim VI-a, bilo je potrebno spojiti shemu mjerenja po uputstvima datim u poglavlju 3.2. i dodatno obezbijediti skalu sa označenim udaljenostima u sklopu odabranog mjernog opsega. U te svrhe korišten je metar fiksiran na površini stola. Spoj akvizicijske kartice i senzora prikazan je na slici 4.2.



Slika 4.2: Prikaz spajanja senzora HC-SR04 sa akvizicijskom karticom NI-6024E preko matadora

Moguće je primjetiti da se realni spoj senzora i akvizicijske kartice neznatno razlikuje u odnosu na 3.1. Veza je izvršena posredstvom matadora zbog prostornih ograničenja i potrebe senzora za vanjskim napajanjem.

Dalje je za svaku od vrijednosti u tabeli 3.1 postavljena prepreka na određenu udaljenost te očitano izmjereno vrijeme i potom zapisano u tabelu 4.1. Odabrana prepreka je bila knjiga sa tamnim debelim uvezom u skladu sa ranije navedenim napomenama koje se tiču potrebe da površina bude ravna i ne od mekog materijala.

2. Mjerni rezultati

Tabela 4.1: Tabela sa prikazom rezultata mjerenja

| Udaljenost (cm) | Korekcija udaljenosti (cm) | Idealno vrijeme [us] | Korekcija očekivanog vremena (us) | Prvi set mjerenja uzlazna putanje (od 2 do 100cm) | Drugi set mjerenja silazna putanja (od 400 do 2cm) | Srednja vrijednost |
|-----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|---|--|--------------------|
| 2 | 2.385372088 | 117.647 | 140.316 | 200.196 | 194.237 | 197.2165 |
| 3 | 3.269556545 | 176.471 | 192.327 | 200.249 | 240.012 | 220.1305 |
| 6 | 6.139218191 | 352.941 | 361.130 | 400.098 | 380.012 | 390.055 |
| 9 | 9.093404203 | 529.412 | 534.906 | 500.147 | 550.017 | 525.082 |
| 12 | 12.07021127 | 705.882 | 710.012 | 700.074 | 730.447 | 715.2605 |
| 15 | 15.05622795 | 882.353 | 885.660 | 900.147 | 910.007 | 905.077 |
| 18 | 18.04688339 | 1058.824 | 1061.581 | 1100.17 | 1150.72 | 1125.445 |
| 21 | 21.04019962 | 1235.294 | 1237.659 | 1300.15 | 1290.01 | 1295.08 |
| 24 | 24.03518255 | 1411.765 | 1413.834 | 1400.27 | 1441.87 | 1421.07 |
| 27 | 27.03127818 | 1588.235 | 1590.075 | 1670 | 1590.01 | 1630.005 |
| 30 | 30.02815346 | 1764.706 | 1766.362 | 1810.01 | 1790.01 | 1800.01 |
| 33 | 33.02559613 | 1941.176 | 1942.682 | 1981.2 | 1960.01 | 1970.605 |
| 36 | 36.02346458 | 2117.647 | 2119.027 | 2140.01 | 2160.02 | 2150.015 |
| 39 | 39.02166065 | 2294.118 | 2295.392 | 2289.01 | 2280.02 | 2284.515 |
| 42 | 42.02011423 | 2470.588 | 2471.771 | 2480.04 | 2450.56 | 2465.3 |
| 45 | 45.01877386 | 2647.059 | 2648.163 | 2660 | 2660.02 | 2660.01 |
| 48 | 48.01760094 | 2823.529 | 2824.565 | 2830 | 2830.02 | 2830.01 |
| 51 | 51.01656594 | 3000.000 | 3000.974 | 2980 | 2970.01 | 2975.005 |
| 54 | 54.01564588 | 3176.471 | 3177.391 | 3250 | 3140.44 | 3195.22 |
| 57 | 57.01482263 | 3352.941 | 3353.813 | 3320.01 | 3340.04 | 3330.025 |
| 60 | 60.01408168 | 3529.412 | 3530.240 | 3519.62 | 3490.01 | 3504.815 |
| 63 | 63.01341127 | 3705.882 | 3706.671 | 3660.01 | 3645.01 | 3652.51 |
| 66 | 66.01280179 | 3882.353 | 3883.106 | 3831.22 | 3830.01 | 3830.615 |
| 69 | 69.01224529 | 4058.824 | 4059.544 | 3960.01 | 4010.02 | 3985.015 |
| 72 | 72.01173515 | 4235.294 | 4235.984 | 4237.51 | 4190 | 4213.755 |
| 75 | 75.01126582 | 4411.765 | 4412.427 | 4360.22 | 4357.59 | 4358.905 |
| 78 | 78.01083258 | 4588.235 | 4588.873 | 4560 | 4525.23 | 4542.615 |
| 81 | 81.01043143 | 4764.706 | 4765.319 | 4780.01 | 4760.01 | 4770.01 |
| 84 | 84.01005892 | 4941.176 | 4941.768 | 4930.01 | 4900.01 | 4915.01 |
| 87 | 87.0097121 | 5117.647 | 5118.218 | 5100 | 5050.01 | 5075.005 |
| 90 | 90.0093884 | 5294.118 | 5294.670 | 5295.19 | 5220.03 | 5257.61 |
| 93 | 93.00908558 | 5470.588 | 5471.123 | 5399.26 | 5390.01 | 5394.635 |
| 96 | 96.00880168 | 5647.059 | 5647.577 | 5550.01 | 5600.01 | 5575.01 |
| 100 | 100.0084496 | 5882.353 | 5882.850 | 5800.01 | 5850.02 | 5825.015 |

Poglavlje 5

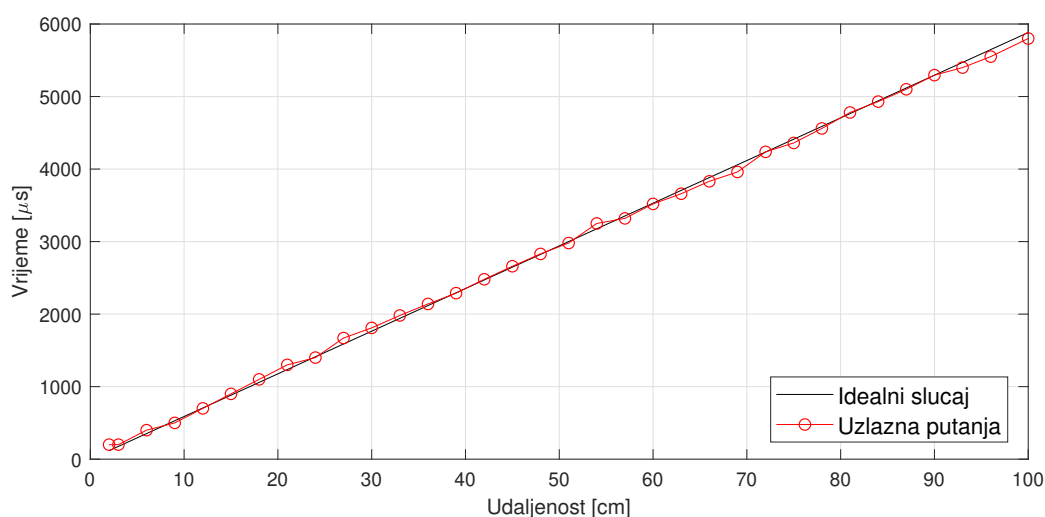


Korišteni algoritam/alat

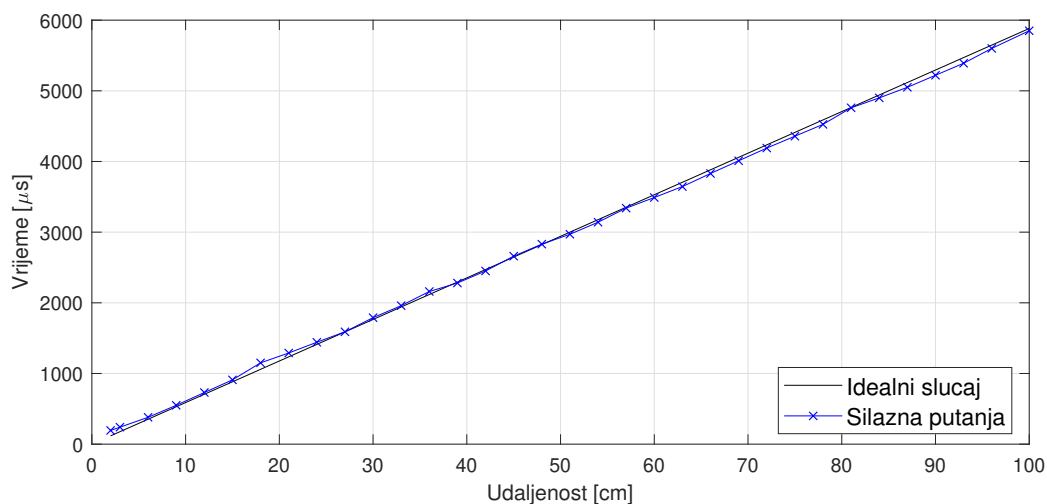
1. Obrada mjernih rezultata

Nakon izvršenih mjerenja na prvom terminu laboratorijske vježbe, dobiveni su mjerni rezultati prikazani u Tabeli 4.1. Rezultati dobiveni mjerenjima dalje su obrađeni u softverkom alatu MATLAB, budući da isti omogućava jednostavnu i efikasnu obradu većeg broja podataka, grafičko predstavljanje rezultata mjerenja i interpolaciju funkcije. Radi preglednosti i lakšeg uočavanja rezultati će biti prikazani odvojeno za obje putanje mjerenja.

Slika 5.1 prikazuje rezultate mjerenja dobivene snimanjem karakteristike uzlaznom putanjom, kao i idealne tj. očekivane vrijednosti, dok su na slici 5.2 rezultati za silaznu putanju mjerenja. Na oba prikaza jasno se vidi da su odstupanja jako mala te je potvrđena hipoteza da je statička karakteristika razmatranog senzora linearna, što znači da potrebe za korištenjem nekog alata za linearizaciju u ovome slučaju nema.

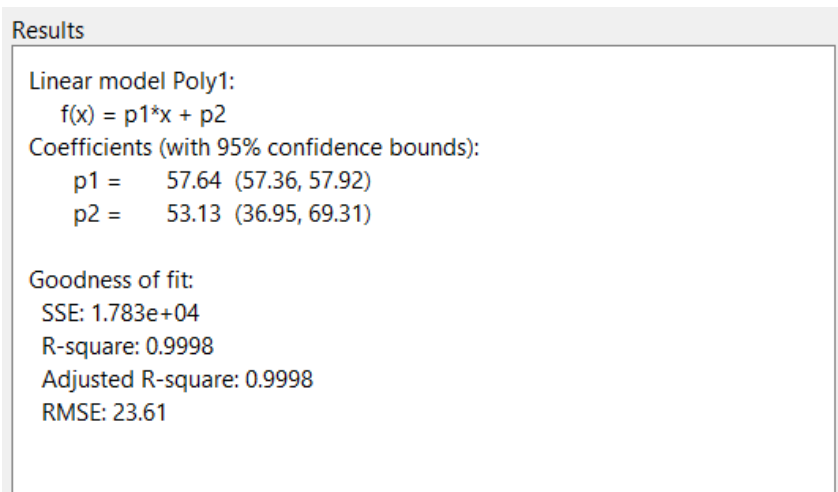


Slika 5.1: Grafički prikaz rezultata mjerenja uzlaznom putanjom



Slika 5.2: Grafički prikaz rezultata mjerenja silaznom putanjom

Za daljnju obradu podataka koristiti će se srednja vrijednost izvršenih mjerenja. To je ujedno i kalibraciona prava iz koje će se dobiti inverzna statička karakteristika odnosno radna prava. Da bi se dobila jednačina kalibracione prave u linearnoj aproksimaciji potrebno je pokrenuti Curve Fitting Tool u okruženju MATLAB te kroz opciju padajućeg menija za *X data* i *Y data* izabrati željene podatke za x i y osu. U konkretnom slučaju, na x osi su podaci za udaljenost d dok su na y osi podaci za vrijeme, i to za srednju vrijednost tsr . Odabirom aproksimacije polinomskom jednačinom prvog stepena (što je u suštini linearna), dobiju se koeficijenti prikazani na slici 5.3.

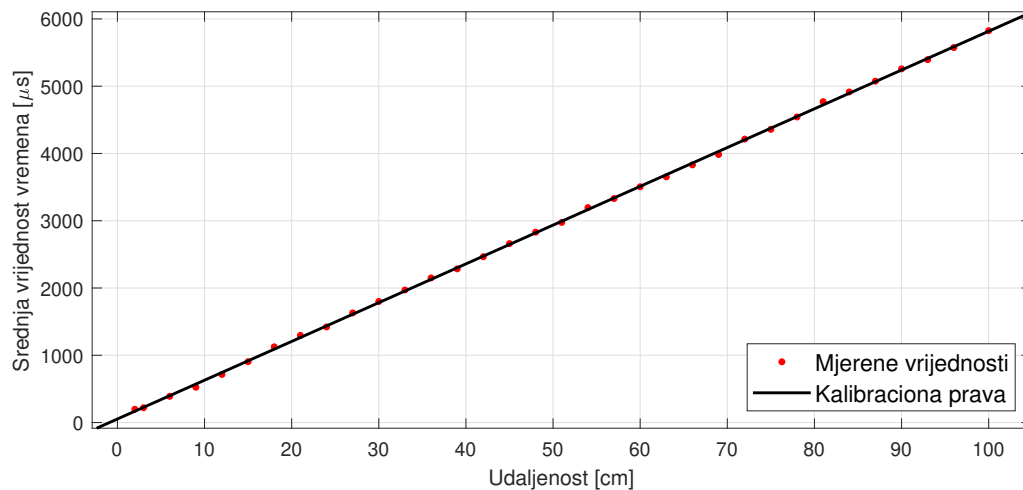


Slika 5.3: Rezultati aproksimacije karakteristike lineranom jednačinom

Stoga jednačina kalibracione prave glasi :

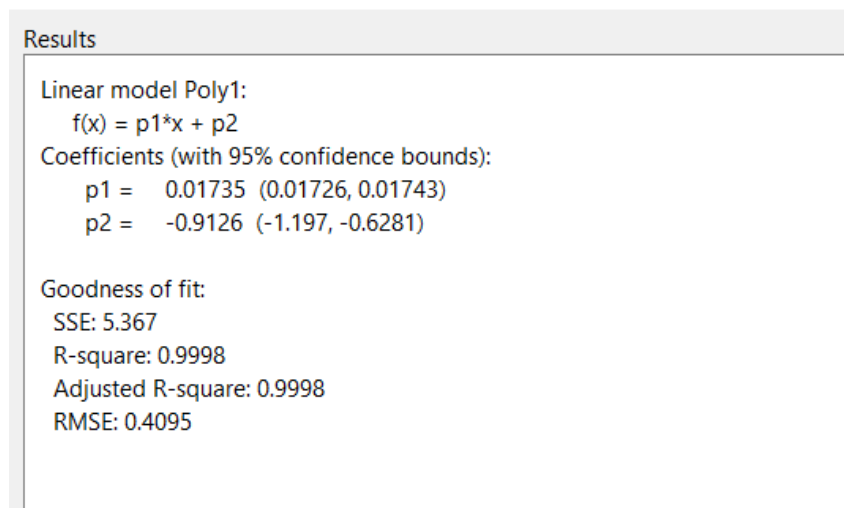
$$t(d) = 57.64 \cdot d + 53.13 \quad (5.1)$$

Poklapanje mjernih vrijednosti sa kalibracionom pravom ilustruje slika 5.4.



Slika 5.4: Kalibraciona prava

Da bi se dobila radna prava senzora potrebno je ponoviti isti postupak, s tim da se ovaj put za X data uzimaju srednje vrijednosti vremena t a za Y data vrijednosti udaljenosti d . Proračunati koeficijenti prikazani su na slici 5.5.

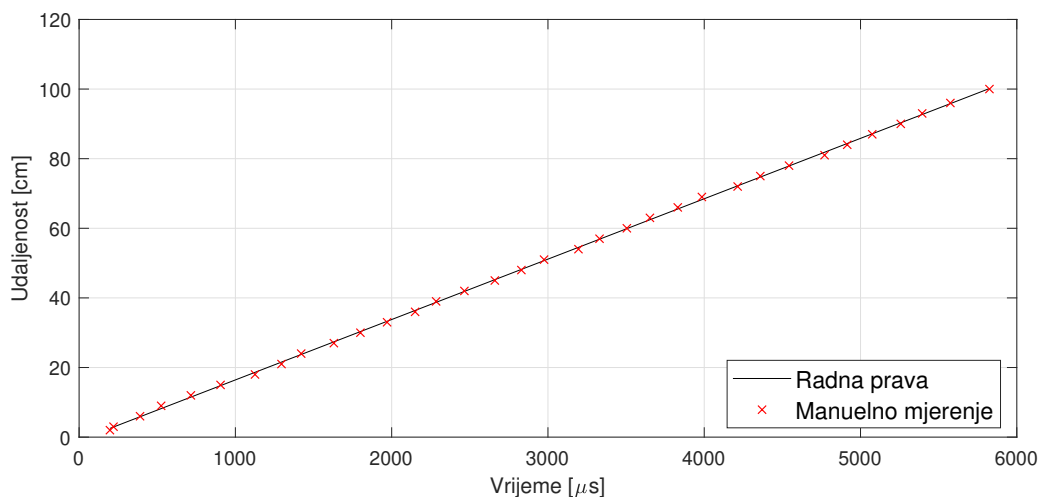


Slika 5.5: Rezultati aproksimacije radne prave lineranom jednačinom

Jednačina radne prave senzora, koja će biti korištena za daljnji rad i simulaciju glasi:

$$d(t) = 0.01735 \cdot t - 0.9126 \quad (5.2)$$

a prava je ilustrovana slikom 5.6.



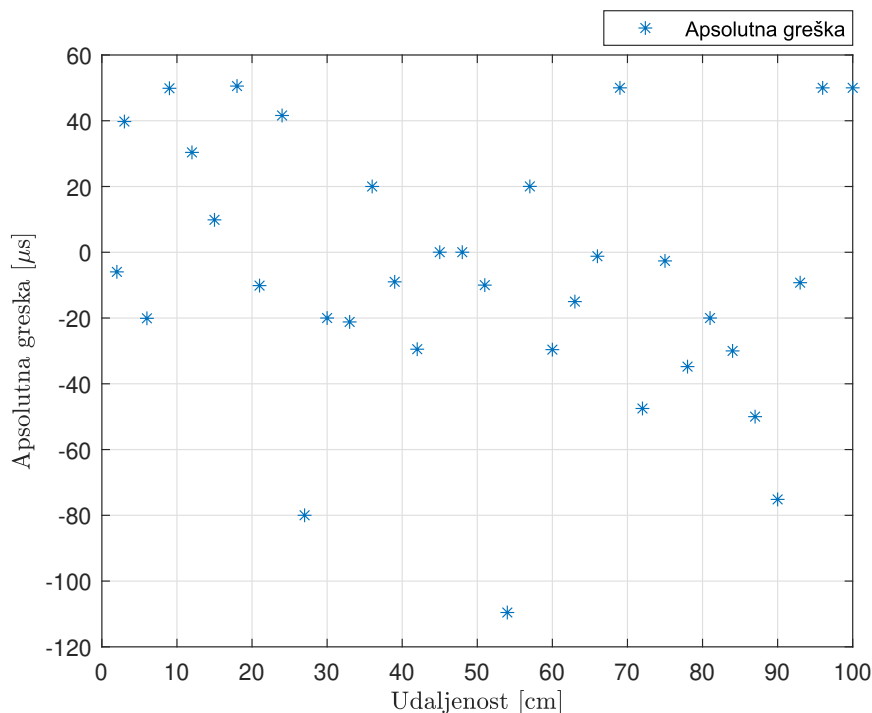
Slika 5.6: Radna prava senzora

Osim sa senzorom HC-SR04 predviđeno je da se radi i sa akvizicijskom karticom NI 6024E koja na izlazu daje napon opsega 0-10 V. Napon na izlazu kartice treba biti proporcionalan udaljenosti koju mjerimo. U situacijama kada je taj napon jednak nuli ili nekoj vrijednosti bliskoj njoj, moglo bi doći do nedoumice da li je senzor u kvaru, vrijednost van mjernog opsega ili jako blizu granice opsega. Da bi se to izbjeglo skalirati će se vrijednost napona tako da na mjernom opsegu senzora koji je korišten na vježbama (radi napomene, isti je od 2 do 100 cm) kartica daje napon u vrijednosti od 0.5 do 9.5 V. Pisanjem jednačine prave kroz dvije tačke, $A(2\text{ cm}, 0.5\text{V})$ i $B(100\text{cm}, 9.5\text{V})$, dobije se sljedeća jednačina koja opisuje skaliranu vrijednost napona :

$$U(d) = 0.0918367 \cdot d - 0.295454 \quad (5.3)$$

Nakon fitovanja karakteristike analizirano je ponašanje apsolutne greške mjerenja tj. razlika između vremena dobijenih uzlaznom i silaznom putanjom mjerenja (pogledati tabelu 4.1). Na slici 5.7 prikazano je ponašanje apsolutne greške, pri čemu je korišten izraz:

$$aps_{greska} = t_{silazna} - t_{uzlazna} \quad (5.4)$$



Slika 5.7: Prikaz znaka apsolutne greške

Na osnovu posmatranja slike 5.7, može se donijeti zaključak da greška mijenja svoju prirodu, tj. *nema isti znak duž čitavog mjernog opsega*, što samim tim i govori da ovaj senzor **nema histereze**, (što je i pretpostavljeno u poglavlju 3.4.). Time je potvrđena i ova pretpostavka data u organizaciji vježbe.

2. Razvoj VI u LabView-u

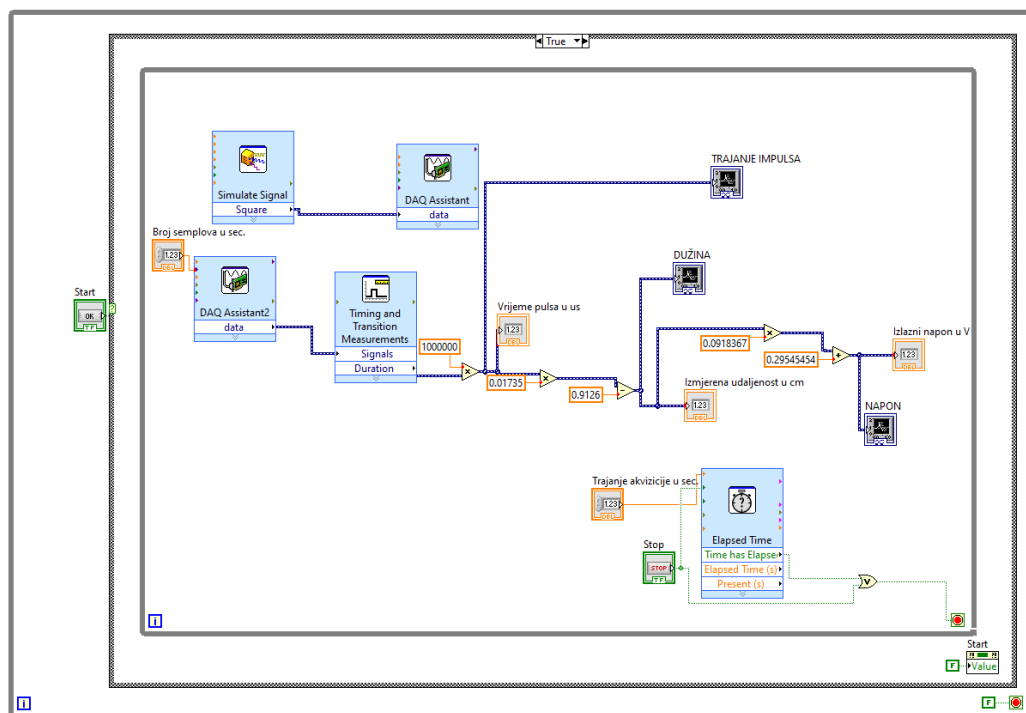
U svrhu omogućavanja prvenstveno rada sa senzorom u vidu očitavanja izlaznih signala sa echo pina senzora, a potom i omogućavanja unosa podataka kojima se manipuliše očitavanje signala odabran je LabView, grafičko programsko okruženje. Izgled korištenog blok dijagrama je dat na slici 5.8.

Za rad HC-SR04 potrebno je napajanje od 5V koje se dovodi sa napojne jedinice, ali da bi bio emitovan ultrazvučni talas potrebno je dovesti na trig pin puls dužine trajanja $10\mu s$. To se omogućava preko bloka koji simulira signale (eng. *Simulate Signal*) podešenog tako da emituje pulseve sa frekvencijom od 1kHz i popunjenosti pulsa od 0.1. Tako kreirani signal se preko bloka za rad sa NI karticom (eng. *DAQ Assistant*) daje na izlaz kartice i spaja na trig pin.

Za očitavanje signala potrebno je prvenstveno kreirati ulaz preko bloka za rad sa NI karticom (eng. *DAQ Assistant*). Dobiveni signal je onaj čija dužina trajanja je proporcionalna udaljenosti, stoga je potrebno izmjeriti to vrijeme koristeći blok za mjerenje vremena i frekvencije (eng. *Timing and Transition Measurement*), koji je podešen da mjeri dužinu trajanja pulsa. Taj signal uz realizaciju relacije 5.3 pomoću blokova za matematičke operacije proračunava udaljenost.

Za potrebe prevođenja izmjerene udaljenosti u izlazni naponski signal vrši se dalji proračun kojim se napon svodi na opseg od 0.5 do 9.5V. Plan je bio da se takav signal ponovo šalje na izlaz, međutim zbog ograničenja, koja su se javila u vidu preopterećenja izlaza i ulaza NI kartice sa već ranije uspostavljenim ulazom i izlazom, tako proračunati signal je isključivo prikazan na grafiku.

Preko ulaznog bloka za rad sa NI, moguća je kontrola broja semplova u sekundi od strane korisnika i dužina trajanja akvizicije. U blok dijagramu je preko bloka koji mjeri vrijeme (eng. *Elapsed Time*) moguće kontrolisati vrijeme trajanja akvizicije koja se pokreće klikom na dugme start od strane korisnika i traje dok ne istekne unaprijed zadano vrijeme ili ne bude zaustavljena akvizicija pritiskom na dugme stop od strane korisnika.



Slika 5.8: Prikaz blok dijagrama VI u LabView-u

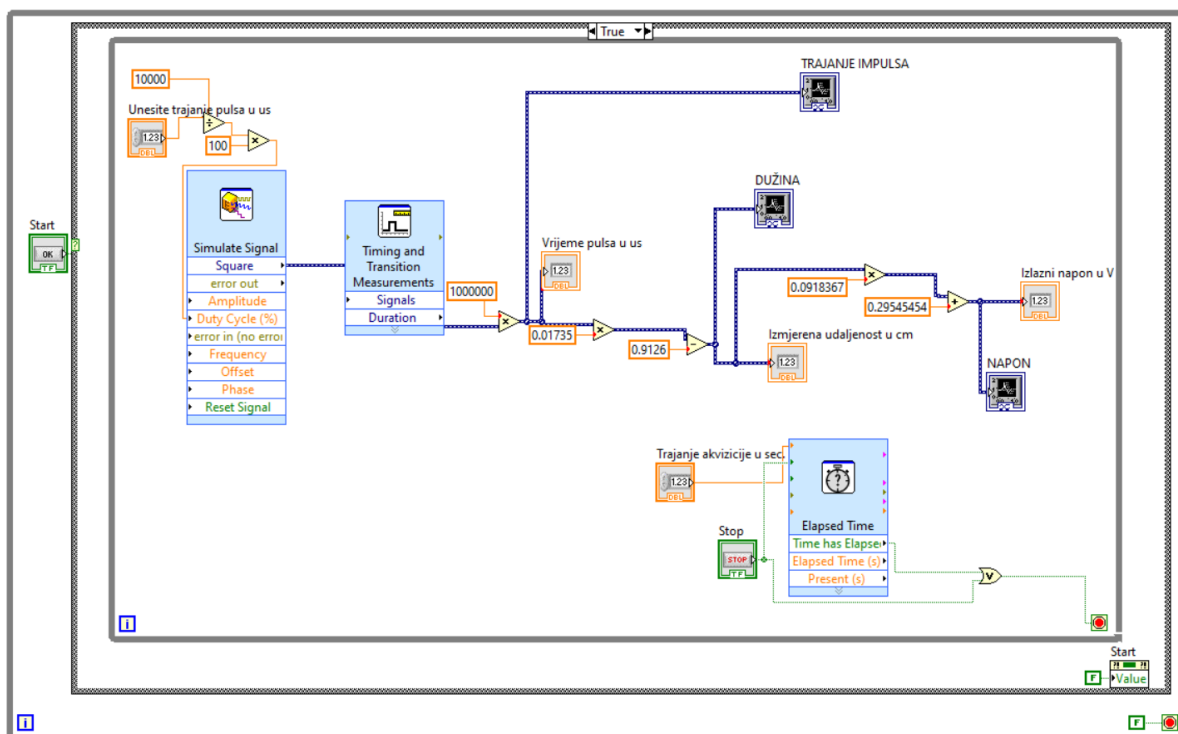
Poglavlje 6



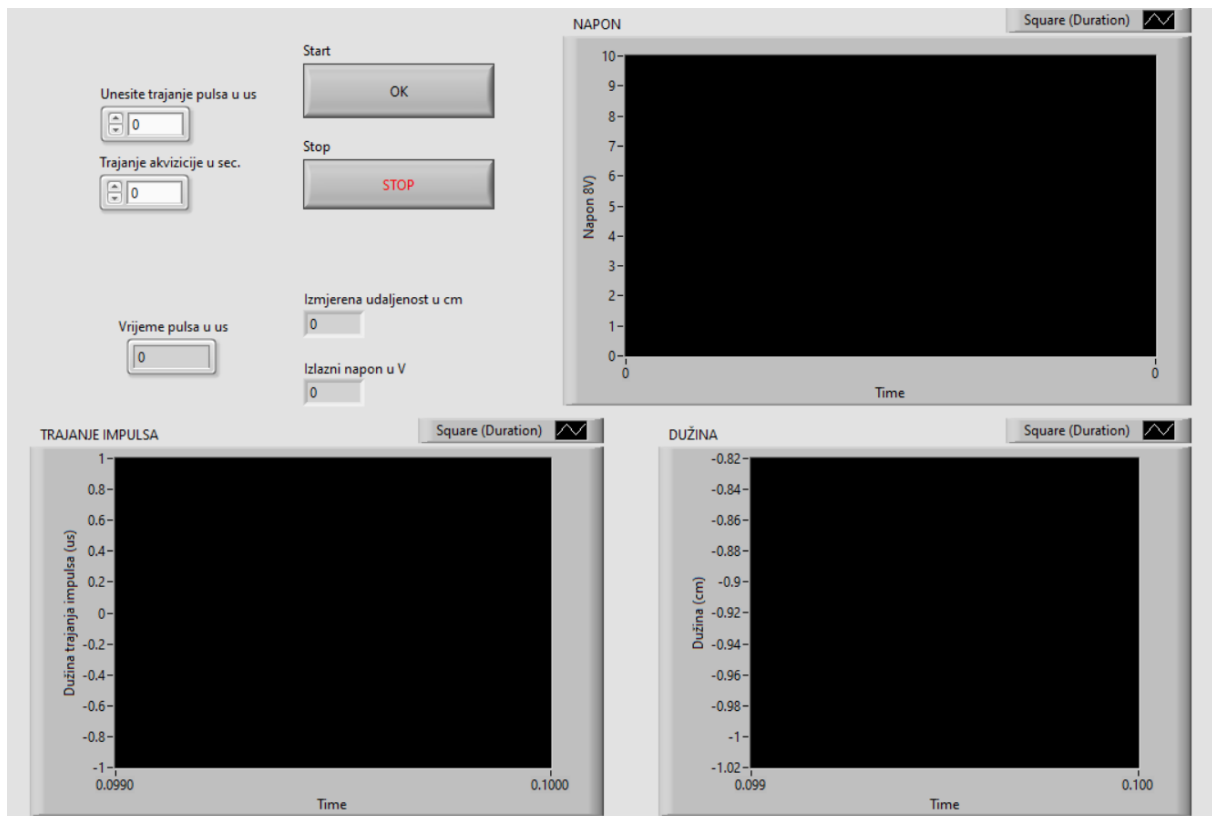
Simulacijski rezultati

1. Postavka simulacije

Za potrebe simulacije bit će ponovno korišten model u LabView-u, jako sličan onom na slici 5.8, koji je korišten za mjerenja u laboratoriji. Na slici 6.1, prikazan je blok koji će biti korišten za potrebe simulacije, dok je na slici 6.2 prikazano grafički interfejs korišten za simulaciju.



Slika 6.1: Prikaz blok dijagrama VI u LabView-u za potrebe simulacije



Slika 6.2: Prikaz grafičkog interfejsa za potrebe simulacije

U odnosu na 5.8 da se primjetiti da 6.1, ima manje blokova, a razlog tome jeste da su u njemu izbačeni blokovi korišteni za trigerovanje samog senzora, kao i blokovi za slanje i primanje signala (tj. blok *DAQ assistant*). U simulaciji će se vršiti provjera rezultata dobijenih u laboratoriji, pri čemu neće biti vršena provjera za sve vrijednosti iz tabele 4.1, već za vrijednosti 6 cm, 51 cm i 100 cm.

Blok *Simulate signal*, na svom izlazu generiše četvrtku amplitude 2.5, te offseta 2.5 i frekvencije 100 Hz. Trajanje dužine impulsa ponovno se mjeri blokom *Time and Measurements*. Dužina se unosi kroz interfejs (kolona srednjih vrijednosti iz tabele 4.1). Simulaciju impulsa dobijamo tako što mijenjamo duty cycle simulirane četvrtke. Za dodatno objašnjenje ovog potrebno je reći da simulirani signal ima period od 0.01 s, što iznosi 10 000 μs , pošto se popunjenost traži u procentima do nje se dolazi primjenom formule 6.1:

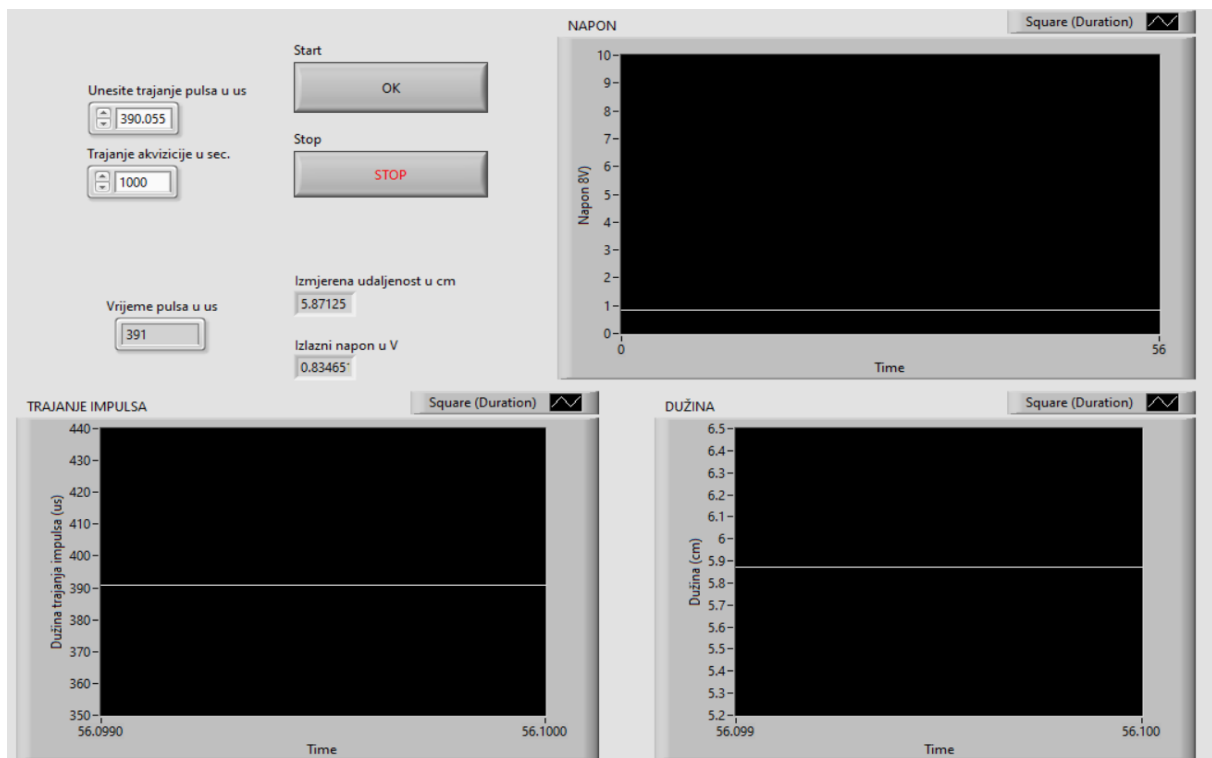
$$duty.cycle = \frac{\text{trajanje pulsa u } \mu s}{10000 \mu s} \cdot 100\% \quad (6.1)$$

2. Rezultati simulacije

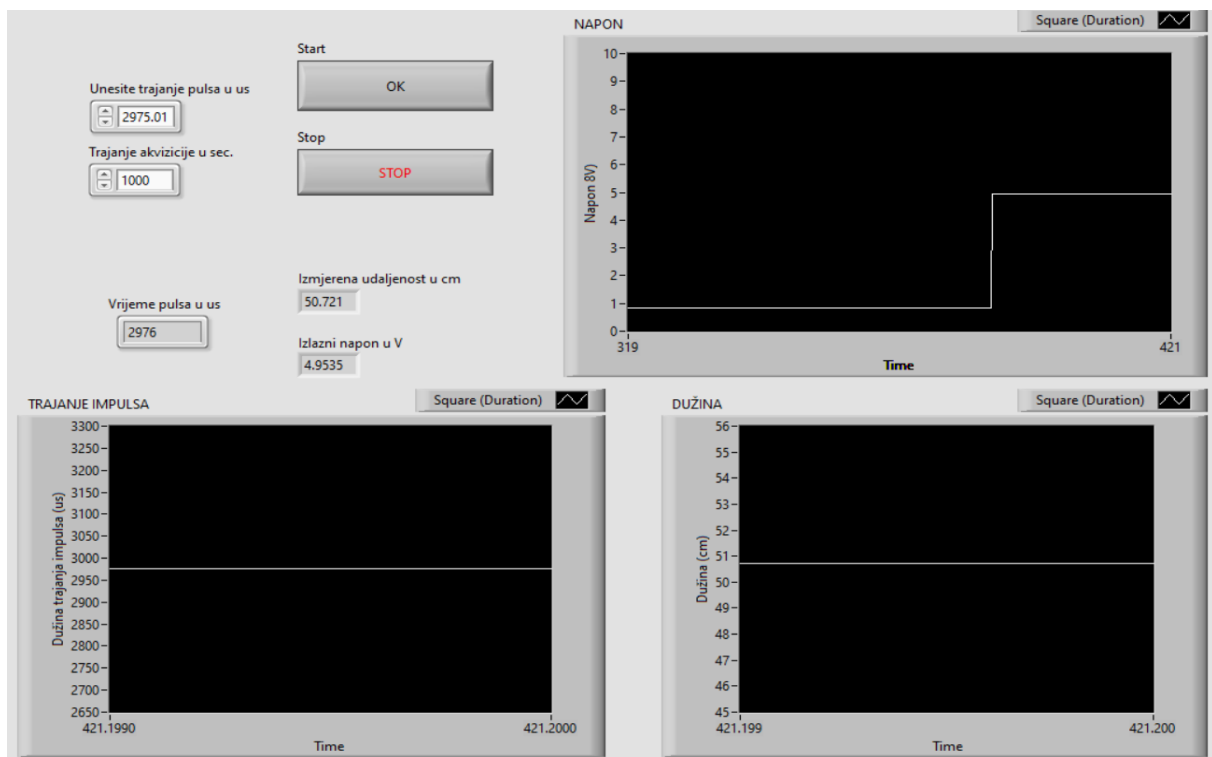
Kao što je već navedeno za potrebe simulacije bit će korištene vrijednosti iz tabele 4.1, provjera će se vršiti za sljedeće udaljenosti:

1. udaljenost 6 cm, unesena vrijednost trajanja impulsa 390.055 μs (rezultati na slici 6.3)
2. udaljenost 51 cm, unesena vrijednost trajanja impulsa 2975.005 μs (rezultati na slici 6.4)

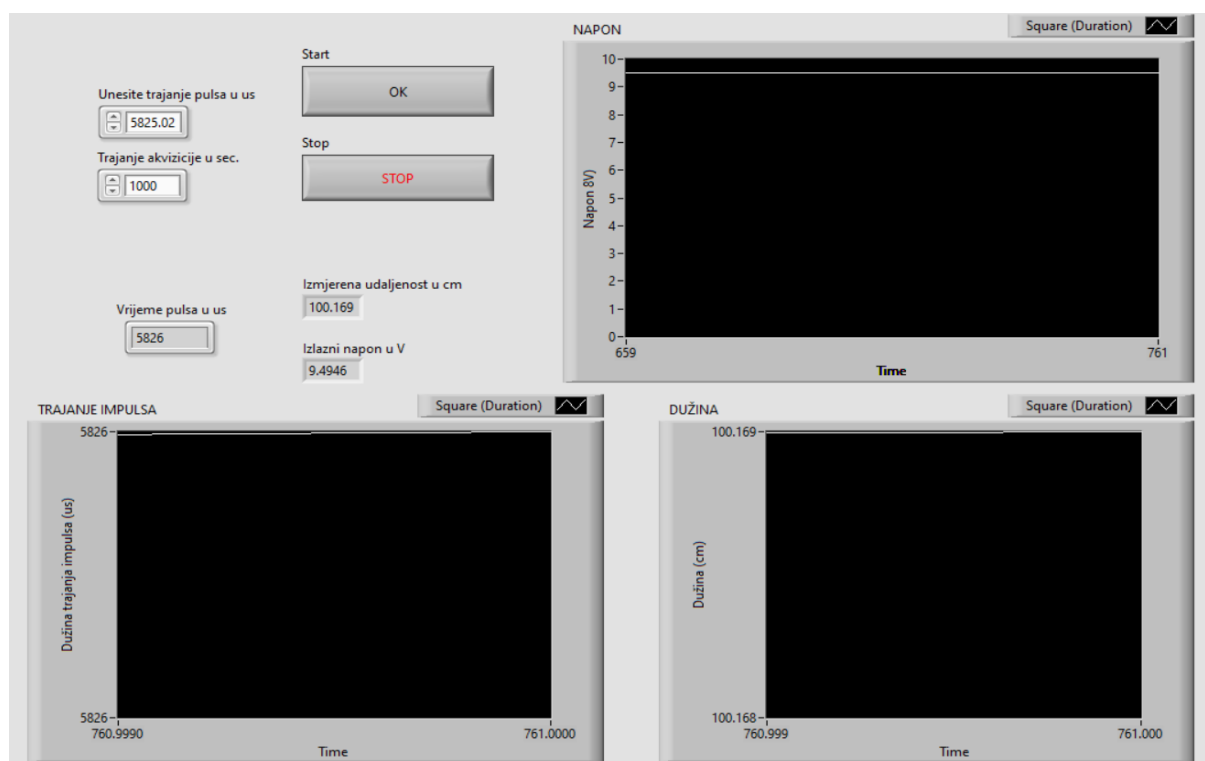
3. udaljenost 100 cm, unesena vrijednost trajanja impulsa 5825.015 μs (rezultati na slici 6.5)



Slika 6.3: Rezultati za očekivanu vrijednost od 6 cm



Slika 6.4: Rezultati za očekivanu vrijednost od 51 cm



Slika 6.5: Rezultati za očekivanu vrijednost od 100 cm

Pregledom priloženih slika, može se zaključiti da simulacija daje očekivane rezultate, što znači da je fitovanje karakteristike dobro odrađeno, kao i softverska implementacija iste.

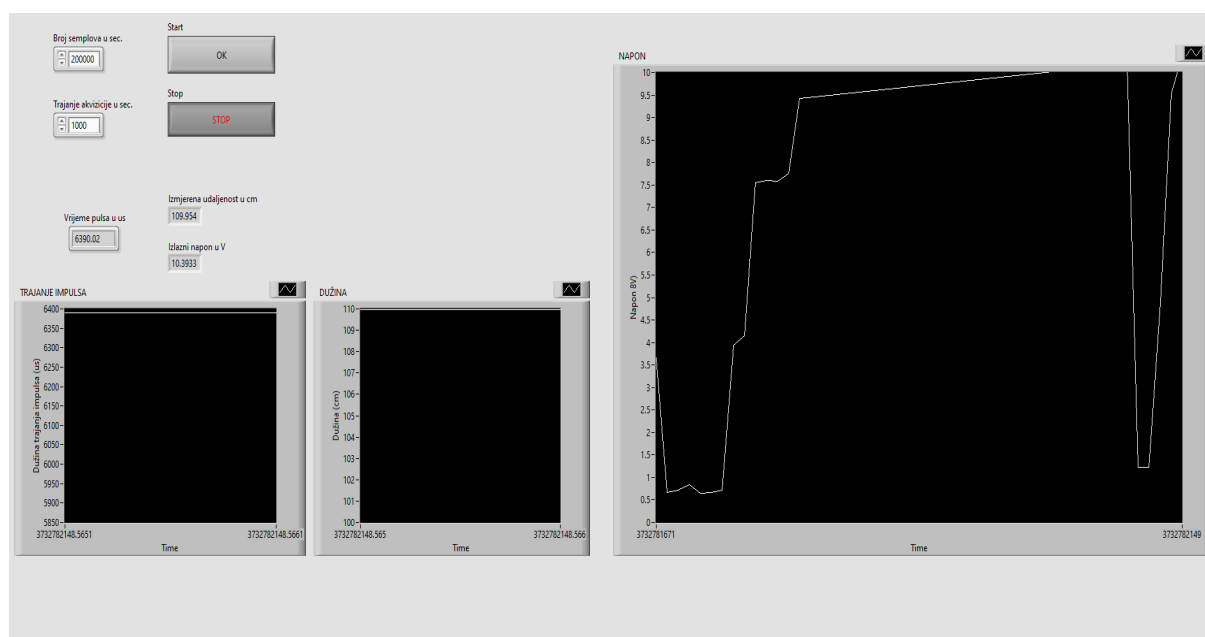
Poglavlje 7



Eksperimentalni rezultati

1. Postavka eksperimenta

Nakon uspješnog fitovanja karakteristike senzora(na osnovu dobijenih rezultata mjerenja u tabeli 4.1), i nakon što su rezultati simulacije pokazali da su ti rezultati uredni, može se prijeći na provjeru dobijene karakteristike senzora kao i provjeru samog algoritma u realnim uvjetima odnosno u laboratoriji. Ponovno će se za provjeru rezultata promatrati tačke kao i u slučaju simulacije odnosno: 6, 51 i 100 cm.



Slika 7.1: Prikaz GUI-a prilikom provjeravanja rezultata u laboratoriji

Na slici 7.2 prikazana je maketa za mjerenja sa prikazom prepreke i senzora.



Slika 7.2: Prikaz setup-a za mjerenje u laboratoriji

2. Rezultati eksperimenta

U nastavku će u kratkoj tabeli 7.1 biti prikazani sumarni rezultati koji su dobijeni u laboratoriji za udaljenosti navedene u postavci ekperimenta.

Tabela 7.1: Tabela sa prikazom rezultata mjerenja

| Tačna udaljenost (cm) | Pokazivanje senzora (cm) | Relativna greška mjerenja (%) |
|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 6 | 5.51 | -8.17 |
| 51 | 50.66 | -0.67 |
| 100 | 99.7 | -0.3 |

Da se primjetiti da su rezultati mjerenja u skladu sa očekivanjima kao i ponašanje greške, tj. greška je sve manja kako se povećava udaljenost na kojoj mjerimo.

Poglavlje 8



Zaključak i diskusija

Rezultati svih postupaka i eksperimentalnih procesa izvršenih u terminima predviđenim za rad u laboratoriji potvrdili su sve prethodno zadate hipoteze navedene u ovome radu. Senzor HC-SR04 ima linearnu statičku karakteristiku i nema histerezu. Također, potvrđeno je da daje nepreciznije rezultate na samom početku radnog opsega (udaljenosti otprilike od 2 cm do 10 cm), te je sve precizniji na većim udaljenostima. Svakako se mora napomenuti da su i dobiveni mjerni rezultati podložni uticajima sistematskih i slučajnih grešaka mjerenja (zbog nesavršenosti mjernih alata, nepreciznosti senzora, otpornosti kablova i uslova u kojima se vrši mjerenje). Za što preciznije rezultate važno je odabrati stabilnu i glatku prepreku (bez izbočina i udubljenja koja bi mogla praviti grešku), voditi računa o položaju senzora u odnosu na podlogu te računski korigovati grešku senzora kao što je navedeno u poglavlju 3.3. Samo modeliranje i simuliranje rada senzora vrlo je jednostavno. Uz pomoć kreiranog VI-ja u LabViewu, senzor se može koristiti za razne druge aplikacije gdje je greška koju daje zanemariva. Posebno je dobar izbor obzirom na pristupačnost i nisku cijenu na tržištu. Ovaj rad predstavlja dobru podlogu za upoznavanje sa senzorom, razumijevanje principa rada senzora i mogućnosti aplikacije u realnim sistemima, te umnogome može olakšati primjenu senzora u drugim, zahtjevnijim sistemima.



Literatura

- [1] Tarik Uzunović, *Predavanja na predmetu: Senzori i mjerenja, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, akademska 2021/22 god.*
- [2] *Micro bit lesson — Using the Ultrasonic Module*, pristup 05.04.2022 <https://osoyoo.com/2018/09/18/micro-bit-lesson-using-the-ultrasonic-module/>
- [3] *How HC-SR04 Ultrasonic Sensor Works & Interface It With Arduino*, pristup 05.04.2022 <https://lastminuteengineers.com/arduino-sr04-ultrasonic-sensor-tutorial/>
- [4] *The working principle, applications and limitations of ultrasonic sensors*, pristup 05.04.2022 <https://www.microcontrollertips.com/principle-applications-limitations-ultrasonic-sensors-faq/>
- [5] *How To Detect Objects with HC-SR04 Ultrasonic Sensor, Arduino and millis()*, pristup 19.04.2022 <https://www.intorobotics.com/object-detection-hc-sr04-arduino-millis/>
- [6] *The Basics of Ultrasonic Sensors*, pristup 06.04.2022 <https://www.cuidevices.com/blog/the-basics-of-ultrasonic-sensors#strengths-and-weaknesses-of-ultrasonic-sensors>
- [7] *Ultrasonic Level Transmitters*, pristup 06.04.2022 <https://www.babbittinternational.com/ultrasonic-level-transmitters.html>
- [8] *What is HC-SR04 Ultrasonic Sensor : Working and Its Applications*, pristup 07.04.2022 <https://www.elprocus.com/hc-sr04-ultrasonic-sensor-working-and-its-applications/>
- [9] *Ultrasonic Sensor Operation on a UAV*, pristup 15.04.2022 <https://www.maxbotix.com/ultrasonic-sensor-operation-uav.htm>
- [10] Nedim Osmić, *Predavanja na predmetu: Praktikum automatike i informatike, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, akademska 2021/22 god.*