

Ultrazvučni sonar

Dizajniran je ultrazvučni sonar. Mikrokontroler PIC16F877 kontroliše aktivni sistem predajnik-prijemnik koji detektuje isključivo talase koji nakon odbijanja od mete u prijemnik dolaze pod uglom od 15° . Softver napisan za mikrokontroler prosleđuje podatke računaru sa kojim je PIC16F877 takođe povezan i u kome se izvršava poseban program u kome se vrše proračuni i prezentuju rezultati merenja udaljenosti mete. Ponašanje ovakvog sistema u mnogome zavisi od spoljašnjih parametara kao što su energija emitovanog talasa i gubitak energije istog, zatim materijal i reflektivna svojstva mete-predmeta čiji se položaj u odnosu na sonar određuje, kao i od okolnog šuma i buke pri snimanju. Funkcionisanje ovakvog uređaja je, stoga, nepredvidivo, pa je cilj projekta bio dizajn što boljeg sistema kod koga će greška pri određivanju slike prostora oko uređaja biti do 20% (granica greške do koje se došlo na osnovu sličnih projekata iz literature).

Uvod

SONAR (SOund NAVigation and Ranging), kao i radar, ima veliku primenu u robotici, navigaciji, detekciji ciljeva, snimanju reljefa dna mora i jezera. Jedna od veoma zastupljenih primena sonara u robotici jeste kao vizuelni senzor. Princip funkcionisanja se zasniva na prostiranju talasa između mete (određenog objekta ili uopšte sredine oko detektora) i prijemnika. Sonar se međutim fundamentalno razlikuje od radara po tome što se energija prenosi pomoću zvuka, dakle pomoću mehaničkih, a ne elektromagnetnih talasa. Ta činjenica daleko pojed-

nostavljuje izradu senzora kod kojih je preciznost smanjena na račun jednostavnosti i pojeftinjenja same realizacije. Međutim, značajnu preciznost postižu i relativno jednostavni sonari koji nisu fabrički proizvedeni. Sa odavno svima dostupnim načinima digitalne obrade signala, sonari su postali mnogo precizniji, mogu se koristiti u mnogo lošijim uslovima od analognih uređaja i imaju mogućnost snimanja informacija i njihove kasnije obrade. U digitalnim uređajima mogu se primeniti algoritmi za filtriranje signala čime se postiže veća rezolucija detekcije u okruženju sa velikim šumom, tj. štetnom bukom. Stoga je korišćenje digitalnih procesora za obradu signala zapravo velika prednost koju treba maksimalno iskoristiti.

Generalni opis sistema

Postoje dve vrste sonara: pasivni i aktivni. Pasivni sistemi se zasnivaju na tome da je sama meta emiter zvučnih talasa koji se prostiru do prijemnika i na taj način se, pošto je brzina prostiranja akustičnih talasa u toj sredini poznata, izračunava udaljenost posmatranog objekta. Kod aktivnih sistema, u paru se nalaze predajnik i prijemnik. Predajnik emituje zvučne talase koji se odbijaju o prepreku i vraćaju do prijemnika. Na osnovu poznate brzine zvuka u datoj sredini, izračunava se udaljenost objekta od prijemnika po formuli:

$$D = \frac{1}{2} v_s t_{\text{prostiranja}}$$

gde je $v_s = 340$ m/s – brzina zvuka u vazduhu, a $t_{\text{prostiranja}}$ [s] – ukupno vreme prostiranja talasa od predajnika i nazad

Prijemnici prema svojoj konstrukciji mogu biti omnidirekcionni, ako podjednako primaju zvučne talase iz svih uglova, ili mogu biti tako konstruisani da detektuju talase koji dolaze samo pod određenim uglovima. Ovi drugi su veoma pogodni kada je po-

Darko Todorović (1985), Vlasotince, Vlasinska 90, učenik 4. razreda Gimnazije "Stevan Jakovljević" u Vlasotincu

trebno odstraniti šum koji dolazi iz svih pravaca i detektovati talase koji dolaze samo pod određenim uglom. Ovo svojstvo prijemnika je matematički predstavljeno logaritamskom funkcijom koja se naziva indeks usmerenja DI (directivity index). Predajnik i prijemnik koji su korišćeni pri gradnji ovog sistema spadaju u drugu grupu – ugao detekcije kod njih iznosi oko 15°, proizvođač i oznaka modela su MURATA 400ST/SR transducers (o njihovim karakteristikama će detaljnije biti rečeno kasnije u tekstu).

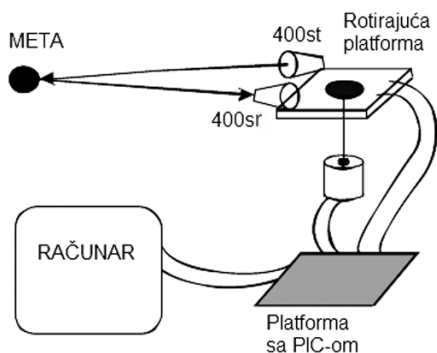
Da bi detekcija bila uspešna potrebno je da količina energije koja se prikupi od strane prijemnika bude veća od nivoa šuma za određenu vrednost. Odnos signala i šuma u logaritamskoj skali, naziva se SNR (Signal-to-Noise Ratio). Minimalan potreban signal za detekciju, naziva se donja granica detekcije DT (Detection Threshold). Znači, da bi uopšte došlo do detekcije potrebno je da bude ispunjen uslov da je SNRDT. Gubitak pri prenosu TL (Transmission Loss) predstavlja gubitak energije signala na putu od predajnika do prijemnika. Još jedan bitan parametar koji određuje uspešnost detekcije signala je moć mete TS (Target Strength) koji pokazuje stepen refleksije talasa od mete. Stepen refleksije zavisi od materijala od koga je sastavljen detektovani objekat, od njegovog oblika (da li ima oštre uglove ili je blago zaobljen) i od položaja u odnosu na detektor. Iz ovoga sledi da se SNR jednog ovakvog sistema može izračunati na sledeći način:

$$SNR = SL - 2TL + TS - NL + DI$$

gde je:

SL – nivo energije emitovanog talasa

DI – indeks usmerenja



Slika 1. Blok shema sistema

Figure 1. Block scheme of the system

NL – nivo buke

Iz prethodnog se vidi da jedan ovakav sistem zavisi od mnogo parametara uslovljenih spoljašnjom sredinom i da je funkcionisanje ovakvog uređaja nepredvidivo. Stoga je cilj ovog projekta da se napravi što bolji sistem kod koga će greška pri određivanju slike prostora oko uređaja biti do 20%. Do ove očekivane greške se došlo na osnovu sličnih projekata kod kojih se greška kretala u ovim granicama.

Arhitektura predloženog sistema

Ovaj sistem se u suštini sastoji od hardverskog i softverskog dela. Hardverski deo sistema se sastoji od 2 osnovna dela:

1. rotirajuće platforme, na kojoj se nalaze predajnik i prijemnik zajedno sa štampanom pločom na kojoj se nalazi elektronika koja ih pogoni
2. sistema koji se zasniva na PIC16F877 mikrokontroleru koji je sa jedne strane spojen sa prijemnikom i predajnikom, a sa druge se nalazi kompjuter na kome se prikazuju dobijeni rezultati

Softver koji pogoni ovaj hardver se takode sastoji iz dva osnovna dela:

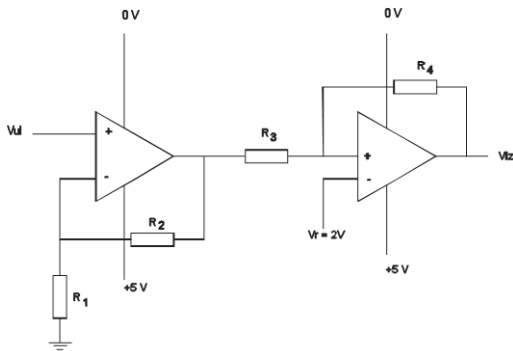
1. softvera koji se izvršava na PIC mikrokontroleru
2. softvera koji se izvršava na računaru

U daljem tekstu će biti posebno izložen i objašnjen svaki od ovih delova sistema, kao i problemi koji su pratili izradu svakog od njih. Biće objašnjene i stvari na koje posebno treba obratiti pažnju pri izboru komponenti.

Predajnik i prijemnik MURATA 400ST/SR

Par prijemnika i predajnika koji su korišćeni za ovaj sistem nose oznaku 400ST/SR Ultrasonic Ceramic Transducers. To su akustični prijemnik i predajnik koji rade na principu piezoelektričnog efekta. Sastoje se od jedne membrane i keramičkog piezoelektričnog elementa koji se nalazi u zatvorenom metalnom kućištu tako da se mogu koristiti u spoljašnjoj sredini. Iako su potpuno zatvoreni ne mogu se koristiti pod vodom.

Amplituda naizmeničnog napona kojim se napaja predajnik iznosi od 10 V do 20 V pri frekvenciji od 40 kHz. Preporuka proizvođača je da se



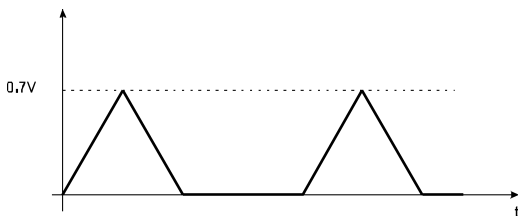
Slika 2. Prijemno kolo

Figure 2. Receiving circuit

predajnik napaja naizmeničnim naponom amplitude od 17 V. Za generisanje naizmeničnog napona može se koristiti posebno kolo, ali u ovom slučaju se naizmenični napon ove frekvencije može lako generisati pomoću PIC mikrokontrolera, što znatno olakšava ne samo izradu uređaja, već, što je i bitnije, merenje vremena od odašiljanja do prijema signala. Ovo je urađeno softverskim putem i detaljnije će biti objašnjeno u delu koji opisuje softver koji se izvršava na PIC-u.

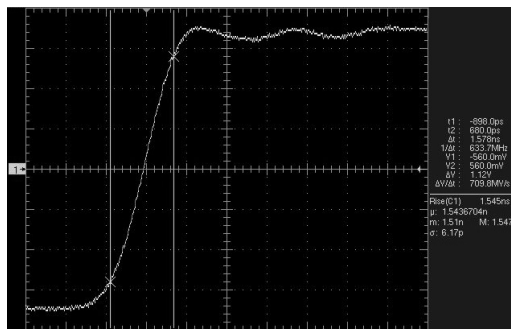
Prijemnik nema svoje posebno napajanje, pa pošto je dobijeni izlazni signal iz prijemnika veoma mali (amplituda je reda veličine 10^{-3} V) potrebno ga je pojačati, za šta se mora praviti posebno kolo za prijem signala. Elektronsko kolo koje se koristi za prijem signala predstavljeno je na shemi (slika 2).

U prvoj verziji ovog kola kao operacioni pojačavači su korišćeni LM324. Međutim oni su se poka-



Slika 3. Izgled izlaznog signala na prijemnom kolu sa LM324 operacionim pojačavačima

Figure 3. Output signal on receiving circuit



Slika 4. Slew rate

Figure 4. Slew rate

zali veoma nepogodnim za ovu aplikaciju zato što im je slew rate bio veoma mali. Zbog ovako malog slew ratea LM324 operacioni pojačavači nisu mogli da rade sa ovako visokim frekvencijama (40 KHz), pa se na izlazu iz kola dobijao testerasti signal mnogo manje amplitude od one koja je po proračunu trebalo da se dobije. Izgled izlaznog signala ovakvog kola (sa LM324 pojačavačima) na osciloskopu je predstavljen na slici 3.

Pošto je slew rate veoma bitan faktor pri ovako visokim frekvencijama, njegovo značenje će biti objašnjeno u sledećem poglavlju.

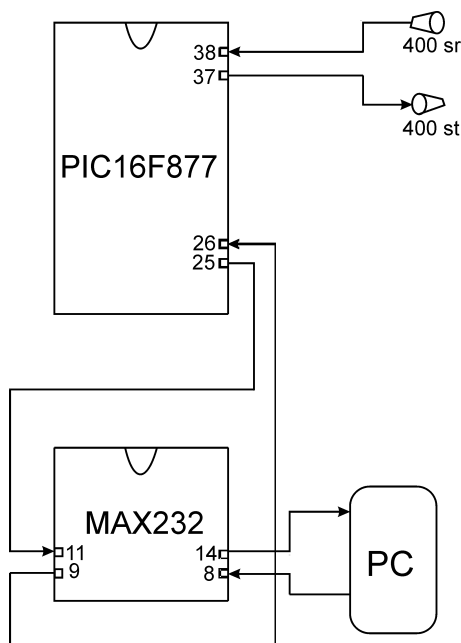
Slew rate

Slew rate se najprostije može objasniti kao brzina promene nivoa napona (u ovom konkretnom slučaju od 0 na 5 V). Izražava se u jedinicama V/s i iz same jedinice se može videti da on predstavlja promenu napona od neke početne, donje vrednosti (0 V) do neke maksimalne vrednosti (5 V) u određenom vremenskom periodu. Ovakva promena je prikazana na slici 4, a na horizontalnoj osi se može videti koliko je proteklo vremena (u ps) dok se napon nije promenio. Na desnoj strani se vide promena nivoa napona i proteklo vreme. Ukoliko je taj period manji, uzlazna ivica promene napona je strmija, što znači da je i slew rate veći.

Slew rate se računa po formuli:

$$\text{SlewRate} = 2\pi fU$$

Pošto imamo da je naizmenični izlazni napon na komparatoru amplitude od 5 V i frekvencije 40 kHz



Slika 5. Shema hardvera zasnovanog na PIC mikrokontroleru

Figure 5. Hardware setup

sledi da je minimalni slew rate potreban da bi se na izlazu dobio očekivani četvrtasti signal jednak 1.257 V/s. Pošto LM324 ima slew rate od 0.5 V/s, jasno se vidi da ovaj operacioni pojačavač ne može da radi pri ovako velikim frekvencijama (normalan signal se dobija tek sa frekvencijama manjim ili jednakim $f = 4$ kHz). Operacioni pojačavač koji zadovoljava postavljene zahteve je TLC272. Slew rate ovog pojačavača iznosi 3 V/s. Upotrebom ovog operacionog pojačavača na izlazu prijemnog kola se dobija napon od 0–5 V pri frekvenciji od $f = 40$ kHz.

PIC16F877

Drugi deo hardvera je odvojen od rotirajuće platforme kako bi se smanjila masa platforme, i radi lakše pokretljivosti iste. Ovaj deo sistema ima 3 funkcije:

1. da prima naredbe koje dolaze sa računara i da vraća informacije računaru
2. da napaja predajnik i da prima signal koji dolazi sa prijemnika
3. da kontroliše step motor koji pokreće platformu

Komunikacija sa računarom

Komunikacija sa računarom se odvija preko RS232 porta. Na PIC kontroleru se nalaze dva specijalna porta za komunikaciju sa eksternim uređajima i to su TX ili transmit port koji se nalazi na pinu RC6 i RX ili receive port koji se nalazi na pinu RC7. Ova dva porta se preko MAX232 kontrolera (koji je posrednik u komunikacija računara i PIC-a) vezuju na računar (slika 5).

Softver

PIC16F877 je mikrokontroler koji je zasnovan na harvard arhitekturi i to je u suštini RISC procesor. Ima 35 instrukcija koje se odvijaju u jednom ciklusu, osim grananja programa za koja su potrebna dva ciklusa. Ovo je veoma bitno pri eventualnom generisanju signala pomoću ovog mikroprocesora, što je u ovom projektu i bio slučaj. Može da radi sa eksternim oscilatorom i do brzine od 20 MHz, s tim što je pri realizaciji ovog projekta korišćen eksterni oscilator na 4 MHz. Inače, ovaj procesor poseduje 40 pina, što mu daje širok opseg upotrebe i kod veoma složenih projekata.

Jedan deo softvera koji se izvršava na mikroprocesoru ima zadatak da generiše signal od 40 KHz koji pogoni zvučni predajnik. Deo koda koji je zadužen za ovo izgleda ovako:

```

REPEAT {
  XORWF RB,F /* promena stanja
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  XORWF RB,F /* ponovo promena stanja na poluperiodi

  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  DECFSZ COUNT,F
  GOTO REPEAT /* 2 instrukcije
}

```

Drugi deo softvera ima zadatak da prikuplja podatke sa prijemnika, da izmeri vreme od odasiljanja do prijema signala i da zatim te podatke, preko

MAX232 kontrolera, šalje računaru na kome se obrađuju podaci. MAX232 je samo pretvarač napona od 5 V, na kojem radi PIC, na 12 V potrebnih za serijski port. Sve se ponavlja u ciklusima, dok korisnik ne da naredbu za prestanak rada uređaja.

Softver koji se izvršava na host računaru isključivo zavisi od potreba korisnika i može se po želji menjati. Njegova osnovna funkcija je da po datoj formuli izračuna udaljenost objekta na osnovu podataka koje je dobio sa PIC mikrokontrolera.

Zaključak

Ovaj uređaj ima široku primenu, a sa minimalizacijom hardvera može je naći u mnogim oblastima, a pre svega je predviđen kao senzor vizije za budućeg robota. Njegova hardverska realizacija nije bila moguća, zbog tehničkih problema koje smo imali u toku izrade, ali gledano iz sadašnje perspektive ovaj uređaj može da pretrpi još niz poboljšanja kako bi zadovoljio uslove koji su zadati na početku rada na projektu. Još uvek nije testirano njegovo ponašanje pri detekciji udaljenosti objekata sa oštrim ivicama ili nepravilnog oblika kod kojih je odbijanje talasa veoma naprevilno i difuzno. U ovom radu navedene su sve poteškoće na koje smo nailazili pri izradi projekta, što će, nadam se, koristiti za poboljšanje eventualnih sličnih projekata.

Darko Todorović

Ultrasonic SONAR

An ultrasonic sonar is designed and tested. Microcontroller PIC16F877 controls the transmitter-receiver system that detects only waves which, after the reflection from the target, go back to the receiver under the angle of 15° . A suitable program written for the microcontroller passes the data to the computer, which is also connected to the PIC16F877, where another program is executed in order to do the calculations and present the results of the measurements.

The quality of such a system mostly depends on the parameters from the outer surrounding: the energy of the emitted wave and its transfer loss, the material (and its index of reflection) that the target is made of, and of course the level of surrounding noise. Because of this, the behavior of such a system is unpredictable, so the main goal of this project was to design the best system possible where the prediction of errors in determining the image of the space around the sonar is only up to 20% (threshold of error determined from similar examples mentioned in the reference articles).

