

Konstrukcija ultrazvučnog sonara i testiranje njegovog rada u različitim uslovima

Ultrazvučni sonar koristi se za određivanje udaljenosti objekata u prostoru. Princip rada zasniva se na merenju vremena proteklog od slanja ultrazvučnog signala ka objektu do registrovanja povratnog signala na prijemniku. Konstruisan je uređaj i testiran njegov rad u različitim uslovima. Ovaj rad pruža uvid u primene ultrazvučnog sonara u robotici opisujući njegovo ponašanje pri različitim uslovima rada.

Uvod

SONAR (SOund Navigation And Ranging) predstavlja uređaj koji koristi zvučne talase za navigaciju, komunikaciju i detekciju drugih objekata. Postoje dva tipa sonara, aktivni i pasivni. Aktivni sonar se sastoji od predajnika koji emituje zvučni talas i prijemnika koji taj talas registruje, dok pasivni sonar ima samo prijemnik. Sistem korišćen u ovom radu predstavlja aktivni sonar, koji meri vreme proteklo od slanja ultrazvučnog signala ka objektu do registrovanja povratnog signala na prijemniku. Na osnovu izmerenog vremena i poznate brzine zvuka može se izračunati rastojanje do objekta.

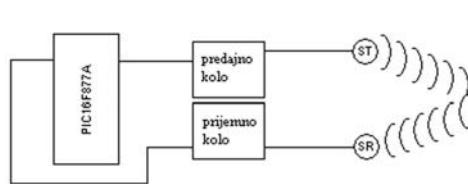
Istraživanje je vršeno kao nastavak radova u Istraživačkoj stanici Petnica iz 2004. i 2005. godine. Rad iz 2004 godine je dao teorijsku osnovu za vršenje istraživanja u ovoj oblasti i naveo niz problema koji mogu nastati prilikom konstrukcije ultrazvučnog sonara (Todorović 2004). Rad iz 2005. godine je dao detaljan opis konstrukcije uređaja i sve potrebne opreme (Danilović *et al.* 2005). Prethodni radovi su doprineli bržoj konstrukciji uređaja čime je

omogućeno da se isti, za razliku od prethodnih godina, testira u mnoštvu različitih situacija.

Cilj ovog rada je bio kompletiranje uređaja i izvođenje merenja potrebnih za opis ograničenja i mogućih primena sonara.

Opis uređaja

Ultrazvučni sonar se sastoji od predajnog kola, prijemnog kola i kontrolnog bloka (slika 1). Kontrolni blok predstavlja EasyPIC3 razvojna ploča na kojoj se nalazi mikrokontroler PIC16F877A.



Slika 1. Blok šema

Figure 1. Block scheme

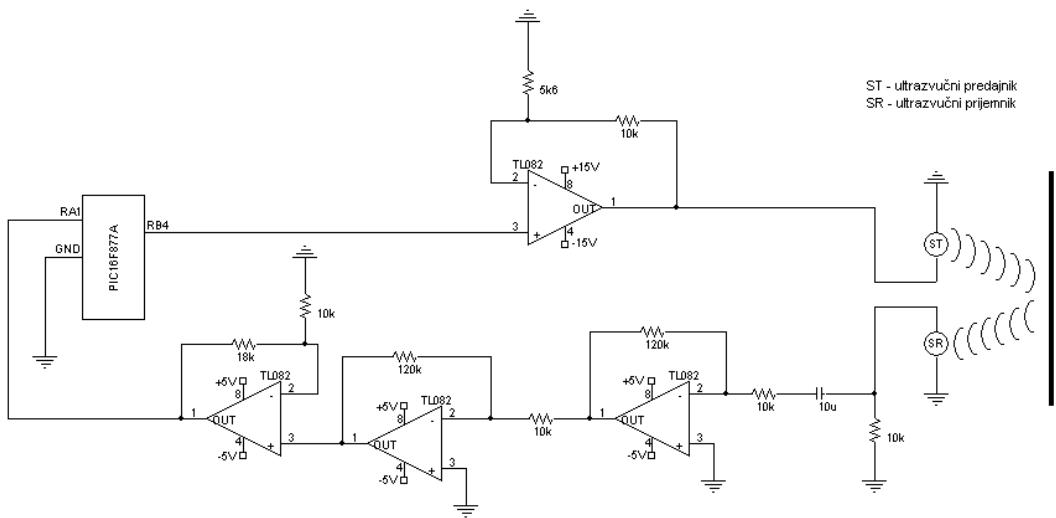
Kontrola celog sistema se vrši pomoću softvera koji se nalazi u mikrokontroleru. On upravlja slanjem i prijemom signala, kao i obradom informacija kako bi ona korisniku bila prikazana u vidu rastojanja do određenog objekta, koje se izračunava na osnovu sledeće jednačine:

$$d = \frac{c t}{2}$$

gde je: d – udaljenost od prepreke, $c = 340$ m/s – brzina zvuka u vazduhu, a t – vreme proteklo od slanja do primanja signala.

Nikola Otašević (1989), Beograd, Otona Župančića 32b, učenik 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu

Miroslav Bogdanović (1990), Beograd, Blagoja Parovića 23, učenik 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu



Slika 2. Šema električnog kola ultrazvučnog sonara

Figure 2. Electric circuit of the ultrasonic SONAR (ST – transmitter, SR – receiver)

Opis prijemnog i predajnog kola

Na ulaz predajnog kola se sa PIC-a šalje impulsni signal frekvencije 40 kHz i amplitude 5V. Amplituda signala se u predajnom kolu pojačava do 14 V, što predstavlja optimalnu vrednost za rad predajnika po specifikaciji proizvođača. Predajnik odašilje signal koji se nakon odbijanja od prepreke registruje na prijemniku (slika 2). Taj signal je potreban dovesti na PIC, gde se obrađuje kako bi se izračunala udaljenost od prepreke. Amplituda registrovanog signala je reda veličine 1 mV, što je značajno manje od vrednosti koja je dovoljna da bi taj signal bio registrovan na AD konvertoru PIC-a. Zbog toga se signal pojačava pomoću tri redno vezana pojačavača. Takođe je bilo potrebno rešiti problem maksimalne vrednosti napona koja se dovodi na ulaz PIC-a. Maksimalna vrednost napona na izlazu pojačavača je ograničena naponom napajanja. Zbog toga se svi pojačavači u prijemnom kolu napajaju sa 5 V. Na taj način je postignuto da napon na ulazu u AD konvertor na PIC-u nikada ne prelazi dozvoljeni nivo.

Opis softvera i njegova ograničenja

Softver za kontrolu sistema, koji se nalazi na PIC-u, radi po algoritmu prikazanom na slici 3. Isti je implementiran u programskom jeziku mikroC.

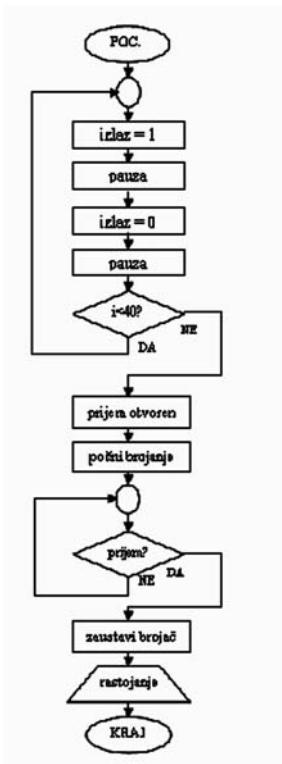
Pomoću ovog algoritma, sa PIC-a se šalje impulsni signal frekvencije 40kHz. Ta frekvencija se postiže slanjem 40 impulsa u toku 1ms. U trenutku kada je završen proces slanja otpočinje proces primanja signala i startuje se brojač. Stanje registra zaduženog za prijem signala se proverava na svakih 135 µs. U trenutku kada se registruje impuls u PIC-u, zaustavlja se brojač i računa se rastojanje koje se ispisuje na LCD displeju razvojne ploče.

Kao posledica slanja signala tokom 1ms javlja se ograničenje u pogledu minimalnog rastojanja koje se može izmeriti. To je polovina rastojanja koje ultrazvučni talas pređe za 1ms, što iznosi 17 cm. Posledica provere stanja registra na svakih 135 µs je preciznost sa kojom se može meriti rastojanje. Stanje registra se proverava za svakih 4.6 cm koje zvuk pređe, pa polovina tog rastojanja predstavlja preciznost ovog uređaja.

Testiranje uređaja i rezultati

U postupku testiranja sonarom su merena rastojanja do:

1. prepreke velikih dimenzija;
2. prepreke dimenzija 20×20 cm;
3. temena ugla od 90°;



Slika 3. Algoritam

Figure 3. Algorythm

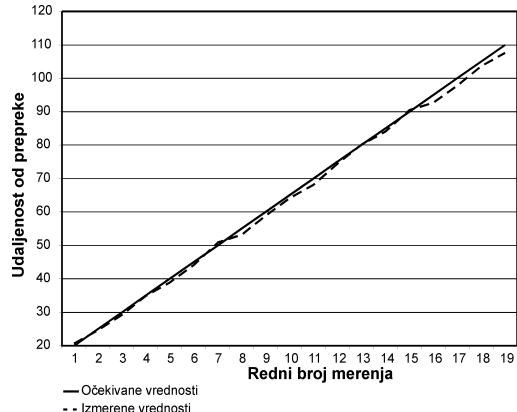
4. temena ugla od 270° .

Takođe je testirano:

- divergencija sonara;
- ponašanje sonara pri kretanju;
- uticaji spoljašnjih faktora.

1. Mereno je rastojanje od sonara do prepreke velikih dimenzija za opseg očekivanih vrednosti od 20 do 110 cm sa korakom od 5 cm. Sonar se pokazao kao izuzetno efikasan aparat za merenje ovog opsega rastojanja sa vrlo malim odstupanjem od merene vrednosti (slika 4). Tačnost i preciznost ultrazvučnog sonara su ograničene softverskom implementacijom. Naime, zbog dužine procesa koji se odigravaju na PIC-u, smanjuje se učestanost provere signala koji dolaze na prijemno kolo.

2. Ponovljen je isti postupak za prepreku dimenzija 20×20 cm. Opseg merenih vrednosti i korak sa kojim je mereno su ostali isti. Takođe, odstupanje

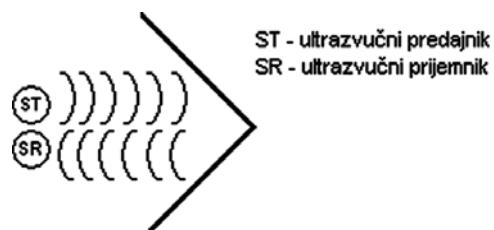


Slika 4. Odstupanja srednjih izmerenih vrednosti rastojanja od prepreke od očekivanih vrednosti za prepreku velikih dimenzija

Figure 4. Deviation of mean measured values from the expected values for the obstacle of large dimensions (full line – expected values, doted line – measured values)

srednjih izmerenih vrednosti od merenih vrednosti je pokazivalo zanemarljive razlike u odnosu na isti postupak sa preprekom velikih dimenzija. Može se zaključiti da je divergencija ultrazvučnih talasa dovoljno mala da na odstupanja od tačne vrednosti rastojanja ne utiču objekti iz okolne sredine.

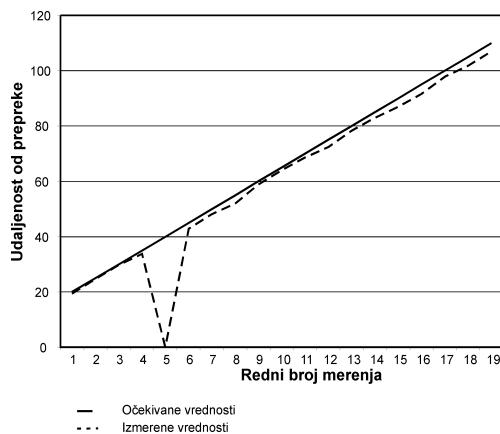
3. Mereno je rastojanje do temena ugla od 90° za opseg očekivanih vrednosti od 20 do 110 cm sa korakom od 5 cm (slika 5).



Slika 5. Opis postavke merenja za teme ugla od 90°

Figure 5. Measurement description for the 90° apex (ST – transmitter, SR – receiver)

Na grafiku odstupanja srednje izmerene vrednosti od merene vrednosti za rastojanje od temena ugla od 90° na slici 6, primećuje se kontrkcija rastojanja za približno konstantnu vrednost što se može



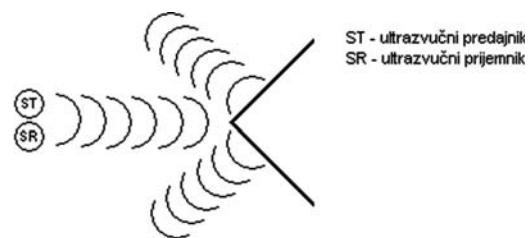
Slika 6. Grafičko predstavljanje preciznosti merenja za teme ugla od 90°

Figure 6. Deviation of mean measured values from the expected values for the 90° apex (full line – expected values, dotted line – measured values)

objasniti odbijanjem zraka od jednog od krakova ugla, a ne od samog temena. Ultrazvučni primo-predajnik može registrovati talas odbijen od prepreke postavljene pod određenim uglom u odnosu na pravac kretanja talasa. Zbog toga se dešava da prijemnik ranije registruje talas odbijen od jednog od krakova ugla nego talas odbijen od samog temena. Na taj način, korisnik ima uvid u rastojanje koje je skraćeno. Međutim, primećena kontrakcija je reda veličine preciznosti samog sonara, te stoga ne bi trebalo da značajnije utiče na primenu sonara pri sličnim uslovima. Prilikom merenja rastojanja do temena ugla, uočeno je da pri očekivanom rastojanju od 40 cm sonar ne može izmjeriti to rastojanje. Važno je napomenuti da se rastojanje od 40 cm vezuje za ugao od 90° i da pri različitim uglovima može varirati. Jedan od načina da se ova pojava objasni je principom destruktivne interferencije. Ovaj rad se nije bavio detaljnijim objašnjavanjem ove pojave.

4. Sonar je testiran i pri merenju rastojanja do ivice, odnosno do temena ugla od 270° (slika 7).

Uredaj je pri ovim uslovima pokazao značajna ograničenja. U većini slučajeva nije bio u mogućnosti da kao povratnu informaciju da rastojanje do temena, što se vrlo lako može objasniti rasipanjem ultrazvučnog talasa posle odbijanja od jednog od krakova ugla. Potrebno je naglasiti da se u ovom slučaju razmatra kretanje emitovanog talasa

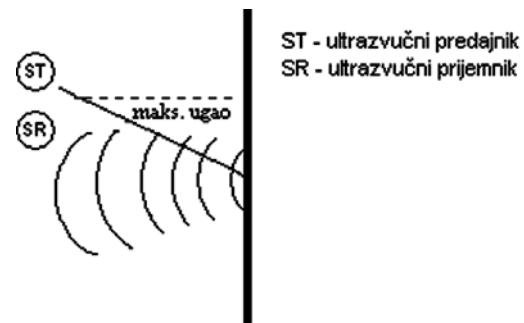


Slika 7. Opis postavke merenja za teme ugla od 270°

Figure 7. Measurement description for the 270° apex (ST – transmiter, SR – receiver)

po simetrali ugla, što predstavlja najnepovoljniji slučaj i da već pri manjim odstupanjima od tog pravca sonar može da izmeri rastojanje do prepreke što je mnogo detaljnije objašnjeno u narednom slučaju.

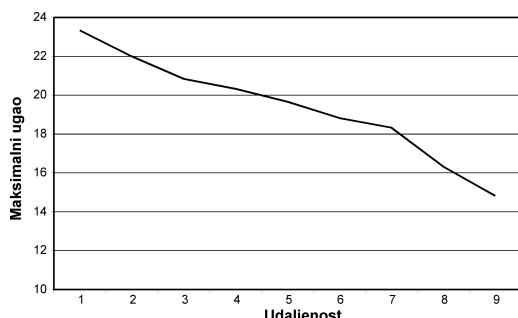
Divergencija sonara merena je na taj način što je određivan maksimalni ugao između normale na prepreku i pravca sonar-centar prepreke pri kome sonar može da detektuje odbijeni signal (slika 8). Merenje je vršeno za udaljenosti sonara od prepreke za vrednosti od 30 do 70 cm sa korakom od 5 cm.



Slika 8. Opis postavke merenja za merenje divergencije

Figure 8. Description of the divergence measurement (ST – transmiter, SR – receiver)

Vrednost graničnog ugla opada sa rastojanjem. Rezultati merenja su upotrebljeni za konstruisanje kalibracione krive (slika 9), što može značajno doprineti nekim budućim merenjima ovim uređajem.



Slika 9. Kalibraciona kriva zavisnosti maksimalnog ugla koji je moguće izmeriti od udaljenosti

Figure 9. Calibration curve of maximum measurement angle as a function of distance

Uz ovaj rad je urađen algoritam koji šalje ultrazvučni signal nekoliko puta u kratkom vremenskom intervalu i izračunava srednju vrednost izmerenih rastojanja koju kao povratnu informaciju daje korisniku. Algoritam predstavlja aparat pomoću kojeg se može vršiti kontrola ultrazvučnog sonara pri kretanju. Testirana je brzina promene povratne informacije pri kretanju uređaja za različite brzine sonara. Isti se pokazao vrlo efikasnim i pri ovoj vrsti testa što predstavlja tačku izlaza ka mogućim primenama ovog sonara u robotici.

Faktori spoljašnje sredine koji mogu uticati na brzinu zvuka u vazduhu su pritisak, vlažnost i temperatura vazduha. Uticaji prva dva navedena faktora su zanemarljivi u odnosu na uticaj temperature. Pri opsegu temperature od 0°C do 50°C brzina zvuka menja se od 331 do 361 (Basić 2007). Brzina zvuka korišćena u ovom radu je 340 m/s (na temperaturi od 15°C), te je najveće odstupanje od te vrednosti 6%, što se odražava na odstupanje izmerenih udaljenosti od očekivanih vrednosti za takodje 6% za svaki slučaj posebno. Dakle, relativno odstupanje je konstantno, dok apsolutno odstupanje varira od 1.2 do 6.6 cm.

Zaključak

Kao što je već navedeno, tačnost i preciznost uređaja su ograničeni primjenjenim algoritmom, te se stoga mogu povećati implementacijom algoritma u programskom jeziku nižeg nivoa.

Merenje rastojanja manjih od 20 cm je onemogućeno softverskom implementacijom. Naime, zbog dužine slanja signala sa PIC-a tokom koje je prijemnik bio isključen (da bi se izbegao prijem direktnog signala sa predajnika), nije bilo moguće registrovati signal koji prelazi ukupno rastojanje manje od 40 cm. Ovaj problem se može rešiti na dva načina, slanjem manjeg broja impulsa ili postavljanjem određene membrane između prijemnika i predajnika koja bi onemogućila direktni prijem signala.

Merenje daljina većih od 110 cm nije bilo moguće jer je jačina signala registrovana na prijemniku bila manja od minimalne dozvoljene vrednosti napona koja je morala biti postavljena da bi se signal razlikovao od šuma sredine. Na tim daljinama je signal sa prijemnika nemoguće razlikovati od šuma. Ovaj problem se može rešiti postavljanjem filtra u kolo, odmah posle prijemnika, koji bi eliminisao šum i na taj način otklonio potrebu za postavljanjem praga. Rezultat svega bi bila mogućnost da uređaj registruje signal koji prelazi veće udaljenosti. Na osnovu merenja šuma procena je da bi se opseg merenih rastojanja mogao povećati i do 10 puta.

Prilikom merenja rastojanja do temena ugla od 90° sonar je takođe pokazao veliku preciznost sa vrlo malim, približno konstantnim, odstupanjem od tačne vrednosti. Ova pojava kontrakcije dužine se može objasniti odbijanjem ultrazvučnih talasa od jednog od krakova ugla, a ne od samog temena. Tačnost se može povećati ukoliko se unapred zna da se radi o merenju rastojanja od uglova dodavanjem konstantne vrednosti ispred formule za rastojanje.

Softver koji je deo ovog rada se vrlo lako može prilagoditi potrebama pokretnog sonara. Uz male modifikacije sonar se može sposobiti da kao povratnu informaciju daje i vrednost trenutne brzine. Ova poboljšanja i testovi koji su urađeni predstavljaju osnovu za primenu sonara u robotici.

Temperatura vazduha je faktor koji najviše utiče na merenja izvršena sonarom. U najnepovoljnijem slučaju, za temperaturu od 50°C i udaljenost od objekta 110 cm odstupanje od tačne vrednosti iznosi 6.6 cm. Međutim, kako se koeficijent koji zavisi od brzine vazduha može vrlo lako menjati u softveru, ukoliko se unapred zna temperatura vazduha, moguće je izbeći pomenuto odstupanje. Šta više, ukoliko bi se mogla izvršiti samo procena temperature sa greškom manjom od 10°C , odstupanje od tačne vrednosti bi potpalo pod preciznost sonara.

Zahvalnost. Želeli bismo da se zahvalimo IS Petnica što nam je omogućila realizaciju projekta. Hvala Miši, i mentoru Darku. I jedno posebno hvala za Srkija koji je uvek bio tu da sasluša naporne autore. Hvala svim ostalim polaznicima i saradnicima koji su svojim prisustvom doprineli završetku ovog projekta. Međutim, ova zahvalnica ne bi bila kompletna bez posebnog spominjanja Dajane, Marka i Strahinje koji su uvek bili spremni da u laboratoriji pomognu u razrešavanju naizgled neobrađenih problema.

Literatura

Basić M. 2007. Merenje temperature korišćenjem ultrazvuka. *Petničke sveske*, 63: 103.

Danilović D., Janković S., Stajić B. 2005. Ultrazvučni sonar. Nepublikovan rad realizovan na na seminaru elektronike. Istraživačka stanica Petnica

Todorović D. 2004. Ultrazvučni sonar. *Petničke sveske*, 57: 133.

Nikola Otašević and Miroslav Bogdanović

Testing of Ultrasonic SONAR as Device for Distance Measurement

Ultrasonic SONAR is used to determine the distance between the objects in space. Operating principle is based on the measurement of time passed from transmitting the ultrasonic signal towards the object up to when the flyback signal is registered on the receiver. The device has been constructed and tested under various conditions. This work gives an insight into the use of SONAR in robotics describing its behavior under various working conditions.

