

Realizacija automatizovanog sistema za snimanje akustičkih karakteristika muzičkih instrumenata sa rezonatorskom kutijom pomoću robotske ruke

Đorđe Panin, Aleksandar Jocić, Nikola Knežević, Miloš Bjelić, Kosta Jovanović, Dragana Šumarac Pavlović
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija

pd183278m@student.etf.rs; ja183157m@student.etf.rs; knezevic@etf.rs; bjelic@etf.rs; kostaj@etf.rs, dsumarac@etf.rs

Sadržaj— U ovom radu opisana je realizacija sistema za snimanje akustičkih karakteristika muzičkih instrumenata sa simetričnom rezonatorskom kutijom pomoću robota. Predstavljene su koncepti i elementi koji su korišćeni u realizaciji sistema počevši od fizičkog povezivanja uređaja, podešavanja programa za rad i komunikacije između uređaja, samog procesa snimanja, skladištenja podataka, digitalne obrade signala i prikaza rezultata. Takođe, opisane su performanse i mogućnosti ovog sistema na datom stadijumu realizacije i na kraju prikazani rezultati testiranja njegovog rada. Prikazani su eksperimentalni rezultati analize akustičkih osobina gitare na osnovu kojih je potvrđen ispravan rad celog sistema. Prednost ovakvog sistema je velika ušteda vremena i truda u odnosu na ručno snimanje odziva, ali i preciznost pozicioniranja i dobra ponovljivost merenja.

Ključne reči – akustičke karakteristike, automatizacija; muzički instrumenti, rezonatorska kutija; robot snimanje;

I. UVOD

Robotika sve češće nalazi primenu u oblasti merenja, kako u istraživanjima tako i u industriji [1, 2, 3, 4, 5]. Postoji potreba za kvalitetnijim proizvodima, te postoji potreba za bržim i preciznijim merenjem. Estetika zvuka nekog muzičkog instrumenta se praktično ocenjuje subjektivnošću čoveka, odnosno muzičara. Tako se pri izradi novih instrumenata eksperimentalno, tj. probanjem i štimovanjem dolazi do određenih karakteristika koje muzičari ocenjuju kao dobre. Postoje težnje da se odrede i objektivne vrednosti koje opisuju dobre karakteristike muzičkih instrumenata sa ciljem da se te dobre karakteristike implementiraju u daljoj proizvodnji replika tih instrumenata. Vibraciono ponašanje klasičnih žičanih instrumenata poput gitare je dobro istraženo [6, 7]. Razlike u kvalitetu gitare potiču od brojnih faktora: razlike u vrsti drveta, dimenzijama, šablonima unutar gitare koji učvršćuju gitaru. Jedan od načina da se dođe do vrednosti karakteristika rezonatorskih kutija muzičkih instrumenata je prikaz njihovih akustičkih osobina snimanjem odziva u bliskom polju na pobudu različitim učestanostima. Na osnovu takvog snimanja može se formirati vizuelni prikaz akustičkog odziva rezonatorske kutije muzičkog instrumenta. Konačan produkt takvog snimanja treba da bude slika kodovana bojama

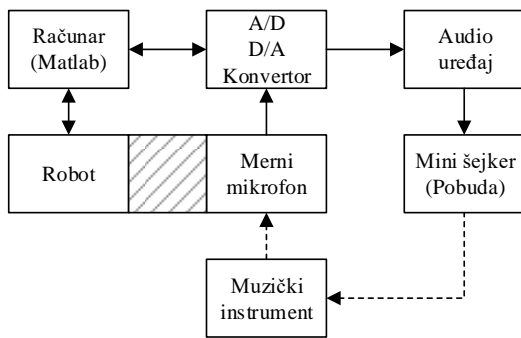
koja prikazuje vrednosti nekog akustičkog parametra muzičkog instrumenta. U literaturi se mogu pronaći podaci o načinu dobijanja ove slike [8]. Slika se najčešće dobijala uz ručno, pozicioniranje mikrofona blizu muzičkog instrumenta i pobuđivanjem instrumenta na mestu spajanja žica i tela instrumenta. Snimanje treba vršiti u velikom broju tačaka iznad instrumenta da bi rezultati bili relevantni [9]. Ovaj proces je vremenski zahtevan, ali i monoton, pa su moguće i greške usled pozicioniranja mikrofona. Proces je moguće automatizovati korišćenjem robotske ruke koja bi pozicionirala mikrofona u zahtevanim tačkama iznad instrumenta, čime bi uštedelo vreme i trud čoveka i postigli dobri rezultati za dalju analizu. Ideja ovog rada je da se realizuje sistem koji bi omogućio da korisnik zada korak sa kojim da se prave uzorci (tj. rezoluciju) i parametre sa kojima se vrši obrada signala, a da sistem zatim samostalno izvrši snimanje, obradu, iscertavanje i skladištenje rezultata. Za realizaciju ovakvog sistema potreban je odgovarajući audio sistem, koji može da pobudi muzički instrument i da snimi odziv na tu pobudu, mehanička komponenta koja će vršiti pozicioniranje mikrofona za snimanje, tj. robot, softverski alat za digitalnu obradu signala i prikaz slika, memorijsko skladište, kao i program koji će usklađivati rad svih uređaja. U ovom radu prikazana je realizacija takvog sistema.

Rad je organizovan kako sledi. U drugom poglavlju predstavljen je koncept celog sistema sa detaljnim opisom pojedinih delova. U trećem poglavlju predstavljeni su koncepti strukture softvera za komunikaciju između pojedinih delova sistema i softver za kontrolu rada sistema. U četvrtom poglavlju prikazan je način snimanja signala pomoću automatizovanog sistema i način obrade signala za dobijanje akustičkih karakteristika muzičkog instrumenta. U petom poglavlju dati su eksperimentalni rezultati snimanja akustičkih osobina gitare. Nakon toga izvedeni su zaključci do kojih se došlo u ovom istraživanju.

II. ELEMENTI I POSTAVKA SISTEMA

U ovom poglavlju navedeni su i detaljnije opisani korišćeni softverski alat za realizaciju programa i hardverski elementi koji su bili dostupni za realizaciju ovog sistema.

Ovaj rad je realizovan u okviru projekata TR36026 i TR35003, koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.



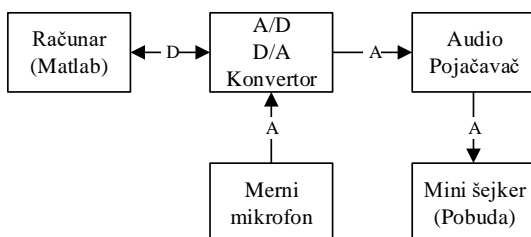
Slika 1. Principijelna blok šema pozicija uređaja u sistemu

Takođe, opisani su načini međusobnog fizičkog povezivanja uređaja. Na Slici 1 prikazana je principijelna blok šema celog sistema.

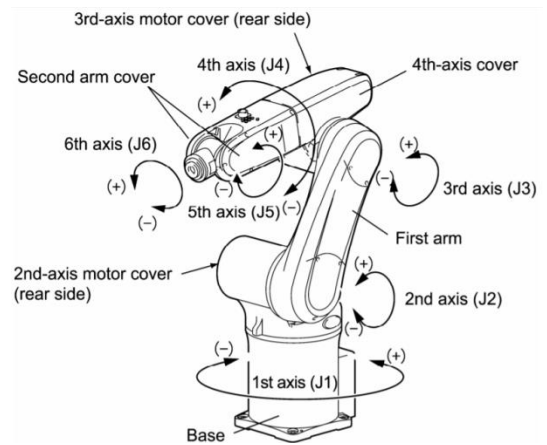
Pre nego što se počne sa povezivanjem najpre je potrebno da se postavi nosač i muzički instrument na poziciju za snimanje tako da robotska ruka može da „dohvati“ celu površinu instrumenta, odnosno delove od interesa. Kao najpogodniji softverski alat za realizaciju kontrole rada i obrade signala uzet je *Matlab R2013b* (32-bitni) instaliran u operativnom sistemu *Windows 10* (64-bitni). *Matlab* je odabran iz više razloga, a pre svega: *Matlab* podržava razne komunikacione protokole, već ima implementirane dostupne gotove softverske komponente za rad audio uređaja, podržava rad sa različitim programskim jezicima, ima veliki broj već gotovih biblioteka sa funkcijama za digitalnu obradu signala i prikazivanje rezultata i takođe, u njemu je udobno vršiti manipulacije sa vektorima i matricama koje čine signali.

Audio sistem za ovakvu svrhu sastoji se od mini šejkera sa iglom za pobuđivanje muzičkog instrumenta, mernog mikrofona malih dimenzija koji snima odziv u odgovarajućoj tački i audio uređaja koji treba da omogući reprodukciju pobudnog signala i snimanje odziva sa mikrofona. Dostupan audio uređaj sa kanalima za reprodukciju i snimanje bio je *STEINBERG UR 22*. Veza računara i audio sistema realizuje se posredstvom AD/DA konvertora. S obzirom da se na računaru generišu i obrađuju signali digitalne prirode, upotrebom *Matlab* softverskog paketa, njihovo realno emitovanje i snimanje je u analognoj formi.

Povezivanje audio sistema izvršeno je kao na Slici 2: USB port računara je povezan na A/D – D/A konvertor i tom vezom se šalju digitalni signali. Na izlazni D/A port konvertora je povezan ulaz audio uređaja koji prima signal u analognoj formi. Na izlaz audio uređaja je povezan mini šejker (pobuda). Na ulaz A/D konvertora je povezan mikrofona.



Slika 2. Principijelna blok šema audio sistema (D – digitalni signal, A – analogni signal)

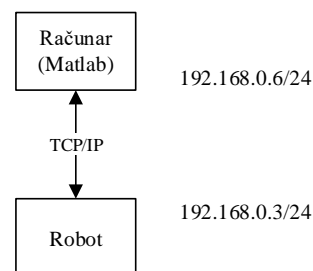


Slika 3. Skica robota sa oznčenim osama rotacije [13]

Dostupan robot za pozicioniranje mikrofona je industrijska robotska ruka Denso VS6577G. Ovaj robot pripada VS seriji robotskih manipulatora. VS Serija se odlikuje velikom brzinom koju robotska ruka može postići, ali i ponovljivošću zadatka. Težina ruke je 36 kg, maksimalna nosivost je 7 kg i ima dohvat od 854 mm. U industriji se može koristiti za različite zadatke poput: sklapanja, pakovanja, prenosa materijala, itd. Maksimalna brzina je 7600 mm/s u centru krajnje tačke robota (mesto montiranja hvataljke). U svim pravcima X, Y i Z ima pozicionu ponovljivost od ± 0.03 mm. Na svih šest osa su montirani AC motori dok se detekcija pozicije obavlja pomoću apsolutnih enkodera. Skica robota je prikazana na Slici 3.

Kako i *Matlab* i softver robota podržavaju TCP/IP protokole za komunikaciju, veza računara i robota realizuje se direktno Ethernet kablom. Uređaji su povezani direktno, *Point-to-Point*, pa je bilo potrebno podesiti IP adrese tako da pripadaju istom domenu. Na Slici 4 je prikazana šema povezivanja računara i robota.

Za digitalnu obradu snimljenih signala korišćena je Oktavna filtarska banka [10] koja sadrži određen broj digitalnih filtara za razdvajanje snimljenog signala na različite frekvencijske opsege. Nad filtriranim signalima moguće je izvršiti bilo koju dalju obradu signala koja će omogućiti izračunavanje akustičkih osobina muzičkog instrumenta. Cilj ovog rada je realizacija samog sistema za automatizovano snimanje pa je u tom smislu izostavljena detaljnija analiza snimljenih signala. Izračunat je samo jedan akustički parametar za demonstraciju rada sistema, a to je nivo zvučne snage u bliskom polju. Za svaki opseg se posebno računaju



Slika 4. Principijelna blok šema računara i robota

energetski nivoi signala, a zatim se ti nivoi iscrtavaju na konačnoj slici.

Za skladištenje rezultata koristilo se memorijsko skladište samog računara (laptopa). Moguće je koristiti bilo koje drugo memorijsko skladište dovoljno velikog kapaciteta, jer treba imati u vidu da se skladišti veliki broj snimljenih signala, njihovih obrađenih produkata i određenih rezultata.

III. SOFTVERI ZA KONTROLU RADA SISTEMA

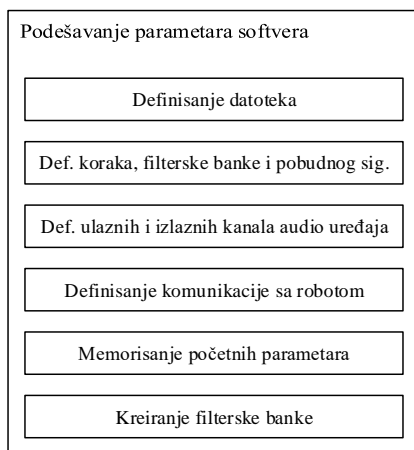
U ovom poglavlju opisan je koncept programa u *Matlab-u* koji kontroliše rad celog sistema. Program je realizovan proceduralno sa jednim glavnim programom i više pomoćnih funkcija i pratećih fajlova za njegov ispravan rad. Takođe, opisan je i softver *Wincaps III* koji komunicira sa *Matlab-om* i koji kontroliše rad samog robota. Na datoj etapi realizacije, program se pokreće pokretanjem glavne skripte i on se ponaša kao server. Softver za kontrolu robota se pokreće nakon pokretanja glavne skripte u *Matlab-u* i priključuje se glavnom programu kao klijent.

A. Glavni program u *Matlab-u*

Glavni program je logički podeljen u više celina, a najopštije se izdvajaju dve celine. U prvoj celini se podešavaju parametri softvera, tj. učitavaju i pripremaju korisnički zahtevi, a zatim u drugoj počinje rad kroz komunikaciju sa drugim uređajima u sistemu. Takođe, postoji i jedna dodatna opcionalna celina koja služi kao podrška u slučaju neočekivanog prekida rada sistema.

Podešavanje parametara softvera

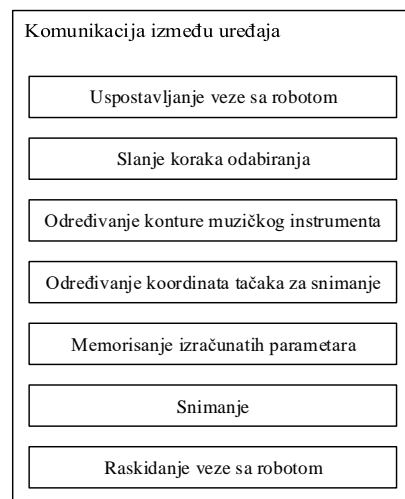
32-bitni *Matalb* ima ograničenu radnu memoriju, pa je za rad sa velikim brojem signala i matrica potrebno dinamično koristiti eksterne datoteke kako ne bi dolazilo do prekoračenja radne memorije samog softverskog alata ili fizičke operativne memorije računara. Takođe, udobno je formirati datoteke u kojima će se sistematično skladištiti parametri i rezultati svakog eksperimenta. Ostali parametri, prikazani na Slici 5, se unose navođenjem vrednosti odgovarajućih promenljivih u programu. Definisanje kanala audio uređaja vrši se navođenjem njihovih identifikacionih brojeva, a za komunikaciju sa robotom se formira poseban TCP/IP objekat. Svi početni parametri se memorišu u jednu strukturu, a zatim se ta struktura smešta u odgovarajuću datoteku.



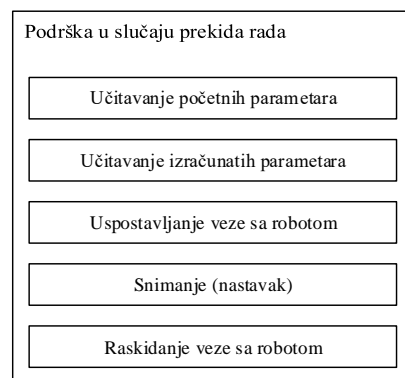
Slika 5. Logičke celine dela softvera za podešavanje parametara

B. Komunikacija između uređaja

TCP protokol obezbeđuje pouzdanost veze s kraja na kraj [11], što značajno olakšava realizaciju same veze. Međutim, u procesu uspostave veze između dva uređaja dolazi do razmene odgovarajućih signalizacionih poruka, trostruko rukovanje, pa pri neočekivanom prekidu rada jednog od uređaja, veza će biti prekinuta i za ponovo uspostavljanje veze opet mora da dođe do razmene signalizacionih poruka. Svi koraci koji se sprovode radi uspešne razmene podataka između računara i robota su predstavljeni na Slici 6. Signalizacione poruke se međutim ne šalju za vreme snimanja i operativnog rada, zato je formirana dodatna skripta, čije su celine prikazane na Slici 7, koja se u tom slučaju pokreće i koja učitava potrebne parametre iz datoteka, uspostavlja vezu i nastavlja proces tako da se na kraju dobijaju rezultati kao da nije bilo prekida.



Slika 6. Logičke celine dela softvera za komunikaciju između uređaja



Slika 7. Logičke celine dela softvera za podršku u slučaju neočekivanog prekida rada

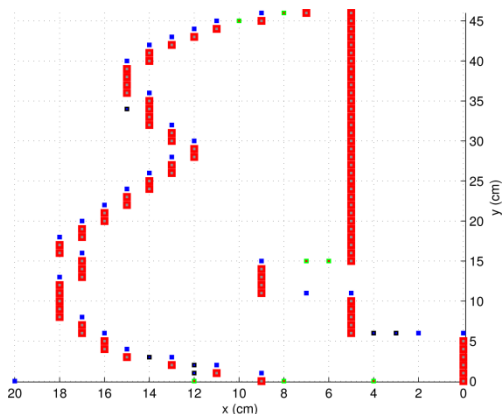
C. Softver za kontrolu robota

PacScript je programski jezik za kontrolu *Denso* robota baziran na dva programska jezika. Napravljen je tako da je sintaksa poput aritmetičkih funkcija i kod koji se ne odnosi na kretanje preuzet iz *Windows-ovog Visual Basic-a* dok je logika robotskog kretanja, odnosno instrukcija kretanja, zasnovana na *SLIM* programskom jeziku (*Standard Language for Industrial Manipulator*). Okruženje u kome je napisan algoritam

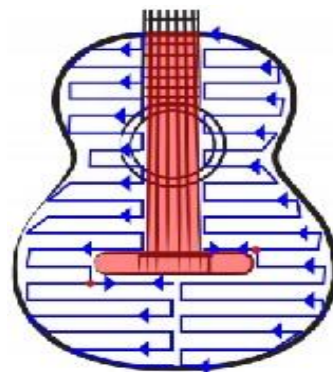
upravljanja zove se *Wincaps III*. *Wincaps III* je softver koji pruža potpunu podršku za *Denso* robote od faze projektovanja, instalacije postrojenja do održavanja. Čitav sistem je dizajniran tako da je *Matlab*-ov program glavni i da on zadaje instrukcije robotskom kontroleru u kojoj tački vrh robotske ruke treba da se nađe. Ukoliko je površina na kojoj vršimo snimanje velika (pri korišćenju većih instrumenata poput violončela ili kontrabasa) ili pak mali korak kretanja, potrebno je više od jednog bajta da bi se prenele sve informacije. Zato uvodimo modifikaciju, te koordinatne parove koje *Matlab* kod šalje robotu i kalibracione vrednosti koje robot šalje *Matlab*-u prenosimo pomoću dva bajta (65 536 različitih brojeva). Time se dobija sistem koji ne zavisi od dimenzija instrumenta na kome vršimo snimanje i to možemo obaviti sa proizvoljno malim korakom (odnosno korakom koji robot može precizno da izvrši). Da bi programi na robotskom kontroleru i program u *Matlab*-u bili sinhronizovani nakon izvršenog zadatka šalje se potvrda o obavljenom zadatku.

IV. POSTUPAK SNIMANJA I OBRADA SNIMLJENIH SIGNALA

U ovom poglavlju opisana je metodologija određivanja konture instrumenta koji se snima i sam automatizovani proces snimanja akustičkog odziva. Kontura instrumenta se određuje po njegovoj spoljnoj ivici i oko mehaničkog nosača pobude. Koristi se manuelni metod za određivanje pozicija granica instrumenta. Na mestu gde se nalazi mikrofon montira se laserski pokazivač. Navođenje se vrši preko interfejsa u *Matlab* programu, gde se instrukcije zadaju preko numeričkog dela tastature računara. Nakon određene konture, Slika 8, i na osnovu zadatog koraka za snimanje, program u *Matlab*-u odredi koordinate svih tačaka u kojima treba da se odradi snimanje pa sistem može samostalno i metodično da počne da radi. Na Slici 9 je prikazan princip kretanja robota iznad instrumenta.



Slika 8. Tačke koje određuju konturu muzičkog instrumenta (na gitari)



Slika 9. Metod kojim se robot kreće

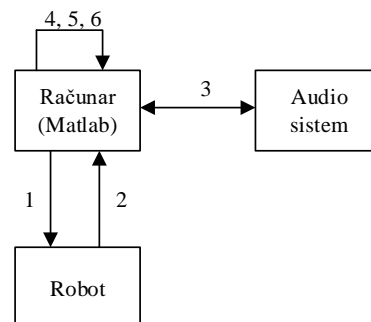
Snimanje svake tačke se odvija u nekoliko koraka:

1. Pozicioniranje robota na tačku za snimanje;
2. Prihvatanje potvrde od robota da je na poziciji;
3. Reprodukucija pobudnog signala i snimanje odziva;
4. Svakom signalu snimljenog odziva se pridruže koordinate tačke u kojoj je taj odziv bio snimljen i zatim se takav vektor memoriše u datoteku;
5. Memoriše se trenutni broj snimljenih signala u datoteku (koristi se za podršku za slučaj neočekivanog prekida rada);
6. Vektor sačuvanog snimljenog signala se obriše iz radne memorije matlaba komandom *clear* kako ne bi dolazilo do nagomilavanja promenljivih i prekoračenja radne memorije *Matlab*-a.

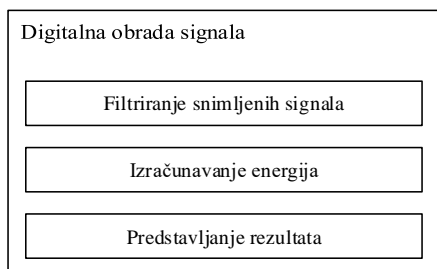
Slika 10 prikazuje koji od uređaja izvodi navedene korake prilikom snimanja.

A. Digitalna obrada signala

U ovom delu rada opisan je program za digitalnu obradu signala, kao i sam metod obrade signala, tj. filtriranje, određivanje energija koje se koriste za prikaz i opis načina za prikaz rezultata (Slika 11). Ova celina je realizovana u *Matlab*-u i odvojena je od glavnog programa.



Slika 10. Principijelna blok šema toka snimanja



Slika 11. Logičke celine delova softvera za digitalnu obradu signala

Filtriranje snimljenih signala vrši se digitalno koristeći kreiranu Oktavnu filtarsku banku sa ciljem da se omogući da se komponente signala razvrstavaju po odgovarajućim frekvencijskim opsezima. Energija za svaki filtrirani signal izračunava se po formuli:

$$E = \sum_{n=1}^N |x[n]|^2 \quad (1)$$

gde je E je energija digitalnog signala $x[n]$, a N je njegova dužina. Vrednosti energija se zatim normalizuju po svakoj oktavi posebno. Predstavljanje rezultata se vrši tako što se iscrta slika posebno za svaku oktavu. Osim samih rezultata merenja, takođe, iscrtaavaju se i karakteristika pojačanja filtarske banke i prikaz pozicija u kojima se našao robot.

V. REZULTATI EKSPERIMENTA

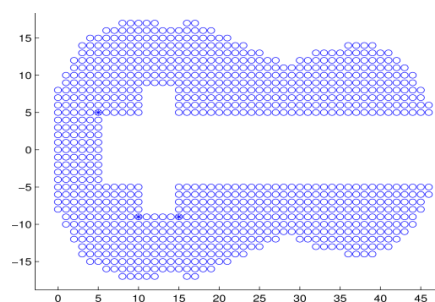
U ovom poglavlju nalaze se eksperimentalni rezultati probnog rada sistema. Na Slici 12 je prikazana eksperimentalna postavka.

Na slici se pored robotske ruke može uočiti konstrukcija koja nosi šejker. Konstrukcija je napravljena tako da šejker pobuđuje rezonatorsku kutiju gitare na mestu gde se inače pričvršćuju žice. Konstrukcija zaklanja deo rezonatorske kutije, pa robotska ruka ne može da snimi odziv instrumenta u toj zoni. U toku snimanja žice gitare bile su fiksirane tako da nisu uticale na odziv rezonatorske kutije gitare koja je snimana. Cilj

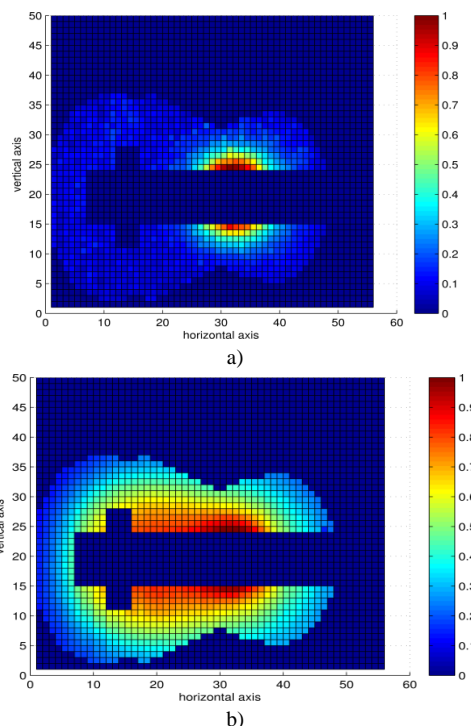


Slika 12. Eksperimentalna postavka za verifikaciju ispravnog rada sistema

ovog eksperimenata bio je prikazivanje ispravnosti rada celog sistema na primeru gitare. U ovom eksperimentu, frekvencija odabiranja audio sistema je podešena na 44100 Hz. Kao pobudni signal korišćena je funkcija *sine sweep* u trajanju 2 sekunde i opsegom od 20 Hz do 22050 Hz. Oktavna filtarska banka definisana je sa 10 opsega. Veličina koraka za snimanje tačaka podešen je na 1 cm. Brzina kretanja robota je podešena na 20% od maksimalne (pokazalo se kao dovoljno brzo za efikasan rad, a daje dovoljno vremena operateru da reaguje u slučaju neophodnosti). Na osnovu koordinata kontura i veličine koraka odrađeno je snimanje u 926 tačkaka koje su prikazane na Slici 13. Kompletan eksperiment sa kretanjem robota i snimanjem je trajao oko 45 minuta. Veličina memorijskog skladišta koja je na kraju eksperimenta zauzeta je 5.42 GB (bez kompresije). Kako je gitara pobuđena signalom *sine sweep* u opsegu od 20Hz do 22050Hz, odabirom određenog filtra iz Oktavne filtarske banke može se izdvojiti željeni podopseg. Na Slici 14 a) i b) prikazani su odzivi u podopsezima 45-90 Hz i 180-360 Hz, respektivno.



Slika 13. Tačke u kojima je vršeno merenje



Slika 14. Akustička slika muzičkog instrumenta u opsegu: a) 45-90Hz i b) 180-360Hz

Sa slika na kojima su prikazani rezultati može se uočiti da je na nižim frekvencijama nivo energije zvuka instrumenta najveći u blizini otvora rezonatorske kutije. Sa povećanjem frekvencije uočava se povećanje broja modova (maksimuma energije) po površini rezonatorske kutije. Ovakve slike mogu pomoći graditeljima instrumenata u optimizaciji konstrukcije samog instrumenta tako da se modovi dobiju na tačno određenim frekvencijama. Druge akustičke karakteristične muzičkih instrumenata koji su snimljeni predstavljenim sistemom mogu se dobiti primenom tehnika obrade signala na već snimljene signale. Snimljeni signali, kao i pozicija na kojoj je izvršeno snimanje se čuvaju, što omogućava dalje analize.

VI. ZAKLJUČAK

Ideja da se napravi vizuelni prikaz akustičkog odziva muzičkog instrumenta nije nova i veliki broj istraživanja je već urađen na tu temu gde se do rezultata dolazilo ručnim merenjem u velikom broju tačaka. U ovom radu je prikazana uspešna fizička i softverska realizacija sistema koji proces merenja vrši samostalno. Korišćenje robotske ruke je značajno unapredilo i ubrzalo prikupljanje ovih rezultata. Najvažnija prednost korišćenja robota je preciznost i ponovljivost. Takođe, pri razradi ovog sistema rešeni su značajni izazovi po pitanju usklađivanja rada različitih uređaja u jednu celinu koji inicijalno nisu bili namenjeni da rade zajedno. Sistem snima, prikazuje i čuva rezultate, omogućava fleksibilnost u izboru parametara za rad i daje mogućnost za dalju nadogradnju i poboljšanje, kao i eventualno proširenje asortimana objekata sa kojima može radi. Jedan od prvih koraka koji bi se mogao preduzeti u pogledu daljeg razvoja ovakvog sistema jeste automatizovano određivanje kontura predmeta u 3D prostoru. Ovim unapređenjem bismo omogućili lakše određivanje granica za snimanje. Takođe određivanjem visine instrumenta na svakoj poziciji snimanja dobija se mogućnost snimanja i instrumenata poput violine koja nema ravnu površinu. Trenutno je moguće snimiti akustički odziv u bliskom polju i ručno nakon toga posmatrati rezultate po određenim oktavama. Međutim, bilo bi zanimljivo realizovati i neke od naprednih metoda obrade dobijenih podataka u cilju objektivne karakterizacije muzičkih instrumenata. Detaljnija analiza odziva muzičkih instrumenata je moguća jer se signali snimljeni u bliskom polju čuvaju, zajedno sa pozicijama mernih mesta.

LITERATURA

- [1] Hagn, U., Nickl, M., Jörg, S., Passig, G., Bahls, T., Nothhelfer, A., ... Hirzinger, G. (2008). *The DLR MIRO: a versatile lightweight robot for surgical applications. Industrial Robot: An International Journal*, 35(4), 324–336. doi:10.1108/01439910810876427
- [2] Lim, S., Yu, S., Kang, M., & Han, C. (2006). *Robot Palletizing Simulation Using Heuristic Pattern Generation and Trajectory*

- Optimization. 2006 SICE-ICASE International Joint Conference*. doi:10.1109/sice.2006.315731
- [3] Larsson, S., & Kjellander, J. A. P. (2008). *Path planning for laser scanning with an industrial robot. Robotics and Autonomous Systems*, 56(7), 615–624. doi:10.1016/j.robot.2007.10.006
 - [4] Guillo, M., & Dubourg, L. (2016). *Impact & improvement of tool deviation in friction stir welding: Weld quality & real-time compensation on an industrial robot. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 39, 22–31. doi:10.1016/j.rcim.2015.11.001
 - [5] Jo, W., Hyeonjun Park, Bumjoo Lee, & Kim, D. (2015). *A study on improving sound quality of violin playing robot. 2015 6th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*. doi:10.1109/icara.2015.7081145
 - [6] Torres, J. A., & Boullosa, R. R. (2009). *Influence of the bridge on the vibrations of the top plate of a classical guitar. Applied Acoustics*, 70(11–12), 1371–1377. doi:10.1016/j.apacoust.2009.07.002
 - [7] Elejabarrieta, M. J., Ezcurra, A., & Santamaria, C. (2002). *Coupled modes of the resonance box of the guitar. The Journal of the Acoustical Society of America*, 111(5), 2283. doi:10.1121/1.1470163
 - [8] Filip Pantelić, Daniel Ridley-Ellis, Miomir Mijić, Dragana Šumarac Pavlović. *Monitoring changes in wood properties using Very Near Filed sound pressure scanning. 4th Annual Conference COST FP1302 WoodMusICK, Brussels, Belgium. 2017.*
 - [9] Filip Pantelić, Miomir Mijić, Dragana Šumarac Pavlović. *Improvement of method for tone wood properties examination using the very near filed sound pressure scanning for mode visualization. The Journal of the Acoustical Society of America* **141**, 3962 (2017); <https://doi.org/10.1121/1.4989017>
 - [10] ANSI S1.11: „Specification for Octave, Half-Octave, and Third Octave Band Filter Sets”, 49 CFR 227, jun 2009.
 - [11] A. Smiljanić: „Uspostavljanje i raskidanje TCP veze“ U: „Osnove i primena interneta“, str. 153-156, Akademski misao, Beograd 2015.
 - [12] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na mreži: http://download.steinberg.net/downloads_hardware/UR22/UR22_documentation/UR22_OperationManual_en.pdf, pristupano 20.1.2019.
 - [13] <http://densorobotics.com/download/dm/24> poslednji put pristupano 01.03.2019.

ABSTRACT

This paper describes the realization of a system for recording acoustic characteristics of musical instruments with a symmetrical resonator box using robots. The concepts and elements that were used in the realization of the system, starting from the physical connection of the device, the setting of programs for operation and communication between the devices, the recording process, the storage of data, digital signal processing and display of results, are presented. Also, the performances and possibilities of this system are described at a given stage of realization and at the end are shown the results of testing his work.

REALIZATION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR RECORDING ACOUSTING CHARACTERISTICS OF MUSICAL INSTRUMENTS WITH A RESONATOR BOX USING ROBOTIC ARM.

Đorđe Panin, Aleksandar Jocić, Nikola Knežević, Miloš Bjelić, Kosta Jovanović, Dragana Šumarac Pavlović