

# Implementacija algoritama za kontrolu usmerenosti zvučničkog niza sa dva glavna loba na otvorenom hardveru

Tijana Đorđević, Stefan Aćimović, Miloš Bjelić

**Apstrakt**— U ovom radu prikazana je implementacija softverski usmerenih zvučničkih sistema. Softverski i hardverski implementirani usmereni zvučnički sistemi, osim što povećavaju nivo zvuka u zadanom pravcu, takođe dovode i do smanjenja reverberacije. U implementaciji korišćeni su zvučnički niz i procesor na kome se izvršavaju tri različita algoritma za obradu signala. Prvo rešenje podrazumeva usmeravanje zvuka ka jednoj zadatoj tački, a drugo i treće rešenje podrazumevaju usmeravanje zvuka ka dvema tačkama koje su proizvoljno zadate. Akcenat rada je na drugom i trećem rešenju koja se koriste u slučajevima kada želimo da obezbedimo pokrivanje dva pravca u auditorijumu. Pored tri nezavisna algoritma u radu je prikazana i simulacija pomoću koje je moguće predvideti dijagrame usmerenosti u sva tri slučaja. Rezultati algoritma kvantifikovani su merenjem dijagrama usmerenosti po 1/3 oktavnim frekvencijskim opsezima. Biće pomenuti detalji implementacije i pojedinosti na koje treba obratiti pažnju prilikom rada sa hardverskom platformom Bela. U radu su izložena poboljšanja koja su dobijena korišćenjem dva, umesto jednog snopa zvuka.

**Ključne reči**—hardverska platforma Bela, dijagram usmerenosti, softverska kontrola usmerenosti, zvučnički niz.

## I. UVOD

Sa napretkom sistema za ozvučavanje i sa povećanjem zahteva korisnika sve je više istraživanja u oblasti softverski usmerenih zvučničkih sistema. Istorijski gledano pre ovih sistema nastali su sistemi koji su se na terenu podešavali tako što se od nekoliko zvučnika napravi niz koji je zakrivljen. Zakrivljenje niza omogućavalo je da se signali fazno usklade i da se maksimalna energija emituje u zadanom pravcu. Iako se ovi sistemi i danas koriste u mnogim aplikacijama, njihova nefleksibilnost je veliki problem. Potencijalno rešenje ovog problema može biti procesiranje signala koji se emituju na pojedinačnim zvučnicima. Glavna prednost ovih sistema je to što se usmeravanje zvuka može postići bez fizičkog pomeranja zvučnika. Promena željene tačke ka kojoj se fokusira zvuk može se uraditi bez menjanja položaja zvučnika. Zbog toga su ovi sistemi pogodni i za daljinsku kontrolu.

Tijana Đorđević – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: dt213283m@student.etf.bg.ac.rs).

Stefan Aćimović - Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: as213306m@student.etf.bg.ac.rs).

Miloš Bjelić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: bjelic@etf.rs).

Softverski usmereni zvučnički sistemi promenama kašnjenja signala za pojedinačne zvučnike usmeravaju zvuk ka željenoj tački. Ukoliko se signal ne procesira, maksimum će biti u osi koja je normalna na zvučnik, a pomenutim procesiranjem maksimum se pomera u željenom pravcu. Problem koji nastaje prilikom usmeravanja zvuka u jednom pravcu je izrazito jak bočni lob. Bočni lob se u mnogim slučajevima gotovo i ne razlikuje od glavnog loba. Na veličinu i širinu bočnog loba se ne može uticati, ona zavisi od frekvencije na kojoj se zvuk šalje, kao i rasporeda zvučnika na zvučničkom nizu. Teško je napraviti optimalnu geometriju zvučničkog niza koja bi za sve frekvencije podjednako dobro potiskivala bočne lobove. U ovom radu će biti prikazana rešenja za softversko usmeravanje zvuka u jednom pravcu kao uvod u rešenja koja prikazuju pokrivanje dva pravca.

Do sada je u literaturi bilo pomena o implementaciji jednog loba [1]. U radu su prikazani dijagrami usmerenosti za 1/3 oktavne opsege čije su centralne frekvencije: 630 Hz, 1250 Hz, 2500 Hz i 4000 Hz. Takođe, neka istraživanja su se bavila i implementacijom algoritma za pokrivanje dva pravca [2], međutim, opseg signala koji je posmatran je ultrazvučni. Budući da će se ovi algoritmi koristiti za ozvučavanje, merenja u radu su izvršena u zvučnom opsegu. Za fokusiranje zvuka neophodan je zvučnički niz. Zvučnički nizovi se sastoje od nekoliko zvučnika raspoređenih na različite načine. Korišćeni su zvučnici koji su postavljeni duž y-ose i fokusiraju zvuk ka tački na željenoj visini. Zvučnički nizovi mogu biti sastavljeni od zvučnika sa različitim karakteristikama usmerenosti. Karakteristika pojedinačnih zvučnika utiče na formiranje dijagrama usmerenosti zvučničkog niza. Zvučnici koji se koriste u eksperimentu su kardiodni i to je neophodno implementirati u simulaciji.

Okosnicu ovog rada predstavlja implementacija sistema koji pokriva dva auditorijuma. Za ovu namenu dizajnirana su dva rešenja. Ideja prvog rešenja je da se polovina zvučnika koristi za usmeravanje signala ka jednoj tački, a druga polovina za usmeravanje signala ka drugoj tački. Budući da se za usmeravanje signala koristi samo polovina zvučnika, lobovi dijagrama usmerenosti će biti širi nego u slučaju kada usmeravanje vršimo sa svim zvučnicima. Drugo rešenje otklanja ovaj problem tako što koristi svih 8 zvučnika. Njegov glavni lob dijagrama usmerenosti za jedan pravac se praktično poklapa sa glavnim lobom u prvom slučaju kada se zvuk usmerava samo u jednom pravcu. U radu će biti prikazano poređenje rešenja kroz merne rezultate, kao i kroz simulaciju.

Budući da se ovakvi sistemi koriste za ozvučavanje prostora neophodno je da oni rade u realnom vremenu. Ograničenje koje donosi ovaj zahtev je složenost algoritma. Poželjno je da algoritam bude što jednostavniji i da se odgovarajući parametri sistema prilikom izvršavanja algoritma na hardveru uzimaju iz memorije.

Primena pomenutih algoritama može biti u sistemima za ozvučavanje koncertnih sala, bioskopa i drugih objekata gde je neophodno pokrivanje dva pravca (parter i galerija). Takođe, moguće je da zvučnički niz bude ugrađen u TV i da u kućnim uslovima imitira *surround* sisteme.

## II. METODOLOGIJA

U nastavku će biti prikazana tri različita rešenja za softversko usmeravanje zvučnika. Kao što je pomenuto, osim algoritma koji će se izvršavati na procesoru razvijena je i simulacija za proveru rešenja. Simulacija se sastoji od programa koji generiše jedinični impuls za svaki pojedinačni zvučnik. Signal se posmatra u nekoj tački na mestu prijema i zbog toga je potrebno uračunati kašnjenje i slabljenje usled pređenog puta. Takođe, neophodno je uračunati i usmerenost pojedinačnih zvučnika koja zavisi od ugla, te signal sa svakog pojedinačnog zvučnika pomnožiti sa tom vrednošću. Ukupan signal u nekoj tački računa se kao zbir signala sa svih zvučnika. Da bi se dobio signal po 1/3 oktavnim opsezima neophodno je na kraju filtrirati ukupan signal.

### A. Usmeravanje zvuka ka jednoj tački u prostoru

Prvo rešenje podrazumeva usmeravanje ka jednoj tački u prostoru. Da bi se ovo realizovalo neophodno je signale koji dolaze na ulaze Bela platforme obraditi i fazno uskladiti. Fazno usklađivanje ovih signala se vrši tako što se na različitim zvučnicima primeni različito kašnjenje. Kašnjenje zavisi od pozicije zvučnika i tačke ka kojoj se signal usmerava.

Računanje kašnjenja biće detaljno obrazloženo za ovo rešenje, a za ostala dva rešenja će biti pomenuta ograničenja i izmene. Na slici 1 prikazan je zvučnički niz i usvojeni koordinatni sistem. Centar koordinatnog sistema je sredina zvučničkog niza. Ugao  $\varphi$  je ugao između  $x$ -ose i prave koja spaja koordinatni početak i tačku A. Tačka A predstavlja tačku u kojoj je potrebno fokusirati zvuk. Rastojanje između tačke A i koordinatnog početka je D. Koordinate tačke A računaju se na osnovu sledećih izraza:

$$x_A = D \cdot \cos(\varphi) \quad (1)$$

$$y_A = D \cdot \sin(\varphi) \quad (2)$$

Rastojanje između tačke A i zvučnika  $i$  računa se na sledeći način:

$$r_i = \sqrt{(x_A - x_i)^2 + (y_A - y_i)^2} \quad (3)$$

gde su  $x_i$  i  $y_i$  koordinate pojedinačnih zvučnika.

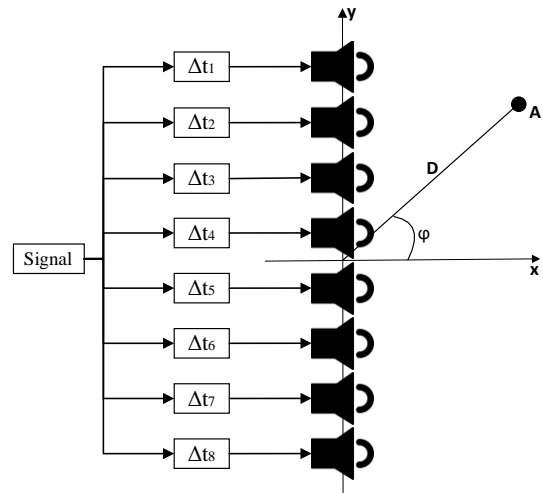
Ukoliko fazno ne uskladimo pojedinačne zvučnike, signal sa zvučnika 1 će prvi stići do tačke, a potom redom signali sa zvučnika 2, 3 itd. Kako bi se fazno uskladili signali neophodno je primeniti kašnjenja na svakom signalu. Kašnjenja se računaju prema sledećem izrazu:

$$\Delta t_i = \frac{r_{\max} - r_i}{c} \quad (4)$$

$$r_{\max} = \max \{r_i\}, i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

gde je  $N$  ukupan broj zvučnika, u ovom slučaju 8, a  $c$  brzina prostiranja zvuka u vazduhu.

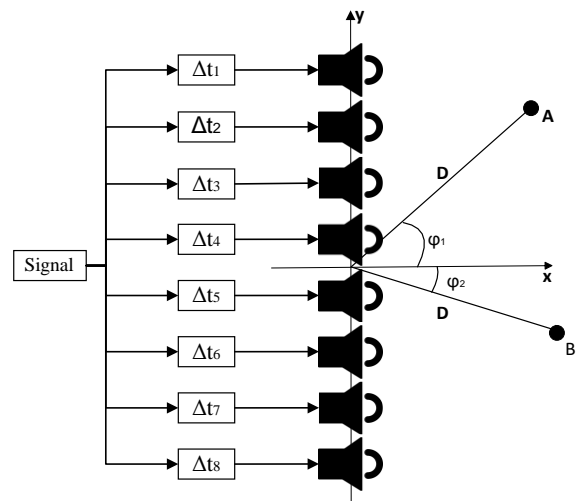
Problem prvog rešenja predstavljaju bočni lobovi. Prilikom usmeravanja signala veliki deo snage signala biva emitovan kroz bočni lob. Naredna rešenja zasnivaju se na dodavanju još jedne tačke ka kojoj će zvučnik usmeravati signal. Na ovaj način moguće je pokriti dva željena pravca zvukom. Primena se može naći u pokrivanju objekata koji se sastoje iz partera i balkona.



Sl. 1. Blok šema zvučničkog sistema za usmeravanje signala u jednom pravcu

### B. Usmeravanje zvuka ka dvema tačkama u prostoru sa odvojenim zvučnicima

Drugo rešenje podrazumeva da se signali na prva četiri zvučnika i poslednja četiri zvučnika posebno obrađuju. Ovaj sistem prikazan je na slici 2.



Sl. 2. Blok šema zvučničkog sistema za usmeravanje zvuka ka dvema tačkama sa odvojenim zvučnicima

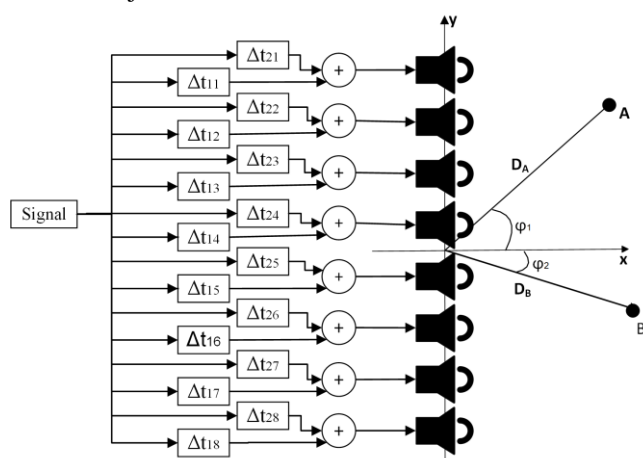
Zvučnici označeni brojevima od 1 do 4 emituju zvuk ka tački A, a zvučnici označeni brojevima od 5 do 8 emituju

zvuk ka tački B. Moguće je proizvoljno podesiti uglove  $\varphi_1$  i  $\varphi_2$ , a oba ugla su iz opsega  $[-90^\circ, 90^\circ]$ . Poželjno je da  $\varphi_1$  bude veći od  $\varphi_2$ , jer je na taj način slabljenje signala minimalno, pošto je rastojanje između zvučnika i prijemnih tačaka minimalno. Kašnjenja se računaju pomoću izraza (5) sa razlikom kod  $r_{max}$ . Maksimalna razdaljina računae se pojedinačno za zvučnike označene sa 1 do 4 i pojedinačno za zvučnike označene sa 5 do 8.

Prilikom implementacije se umesto 8 zvučnika koristi samo 4 za usmeravanje ka jednoj tački. Posledica ovoga su značajno širi glavni lobovi nego u prvom slučaju. Ovaj problem pokušavamo da prevaziđemo u narednom rešenju tako što umesto 4 koristimo svih 8 zvučnika za obe tačke.

### C. Usmeravanje zvuka ka dvema tačkama u prostoru sa kombinovanim zvučnicima

U ovoj implementaciji koristiće se 8 zvučnika (slika 3) koji se usmeravaju ka dve nezavisne tačke.



Sl. 3. Blok šema zvučničkog sistema za usmeravanje zvuka ka dvema tačkama sa kombinovanim zvučnicima

Signali sa ulaza Bela platforme se obrađuju za svaku tačku pojedinačno, nakon čega se signali sabiraju za svaki pojedinačni zvučnik. Kašnjenja se računaju pomoću izraza (5), tako što se prvo posmatraju rastojanja do tačke A, a potom do tačke B. Ovim postupkom dobijamo 2 seta kašnjenja, posebno za tačku A i posebno za tačku B. Ova kašnjenja se nezavisno primenjuju na ulazni signal, potom se zakašnjeni signali sabiraju. Klipovanje se javlja kada je signal koji se prosleđuje funkciji *analogWrite()* veći od 1 ili manji od 0. Prilikom sabiranja neophodno je skalirati signale sa faktorom 0.5 kako ne bi došlo do klipovanja na Bela platformi. Faktor skaliranja iznosi 0.5 jer se sabiraju dva signala u opsegu  $[0,1]$ .

### III. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Prilikom realizacije ovog sistema korišćeni su: zvučnički niz, hardverska platforma Bela i računar. Signal se iz izvora audio signala vodi se na ulaz hardverske platforme Bela. U njoj se ulazni signal multiplicira 8 puta i svaka kopija se dalje nezavisno procesira i prosleđuje na odgovarajući pojačavač, a odatle na zvučnik.

### A. Zvučnički niz

Zvučnički niz koji je korišćen sastoji se od *Genius SP-D150* zvučnika. On sadrži 12 zvučnika sa kardioidnom karakteristikom usmerenosti. Prilikom eksperimenta biće korišćeno samo 8 zvučnika jer je to maksimalan broj audio izlaza kod audio ekspandera na hardverskoj platformi Bela. Zvučnici se nalaze na rastojanju od 6 cm. Unutar zvučničke kutije su osim zvučnika smešteni i pojačavači. Pojačavači se napajaju iz jednosmernog izvora za napajanje napona 9 V. Frekvencijska karakteristika jednog zvučnika koji je ugrađen u sistem je približno ravna na frekvencijama većim od 300 Hz [3].

Pre samog eksperimenta neophodno je sprovesti kalibraciju zvučnika. Potrebno je normalizovati nivoe signala tako da svi zvučnici za istu pobudu emituju isti nivo signala. Na slici 4 prikazan je zvučnički niz.



Sl. 4. Zvučnički niz

### B. Hardverska platforma Bela

Hardverska platforma Bela je *open source single-board* uređaj za obradu signala. Bela se sastoji od platforme BeagleBone i namenske nadploče Bela. BeagleBone platforma je Linux kompatibilni sistem čiji je centralni deo ARM Cortex-A8 procesor sa 512MB RAM-a. Glavna prednost pri korišćenju Bele je malo kašnjenje koje će omogućiti da se reprodukcija zvuka odvija u realnom vremenu. Hardverska platforma Bela ima 2 stereo ulaza i 2 stereo izlaza za audio signal, zbog čega je neophodno koristiti audio ekspander [4]. Audio ekspander je dodatak koji povećava broj audio ulaza i izlaza. Na slici 5 prikazana je hardverska platforma Bela sa audio ekspanderom. Audio ekspander ima dodatne priključke na koje je moguće dovesti audio signal koji će nakon obrade biti prosleđen na analogne ulaze hardverske platforme Bela. Pre početka rada neophodno je povezivanje pojedinih pinova na audio ekspanderu. Konektori obezbeđuju vezu između audio ulaza ekspandera i analognih ulaza hardverske platforme Bela. Audio ulazi ekspandera su povezani sa

analognim ulazima hardverske platforme Bela, te će se ovom signalu pristupiti uz pomoć funkcija *analogRead()*, *analogWrite()* i *analogWriteOnce()*.



Sl. 5. Hardverska platforma Bela sa audio ekspanderom

Korišćenje 8 audio izlaza uvodi dodatno ograničenje kada je u pitanju frekvencija odabiranja. Umesto 44.1 kHz, frekvencija odabiranja biće 22.05 kHz. Bela platforma podržava objektno-orijentisanu paradigmu. Jezik u kome je pisan algoritam je C++. Poznato je da su jezici C/C++ daleko brži od ostalih zbog mogućeg direktnog pristupa memoriji i njenim registrima. Ovo doprinosi brzini izvršavanja algoritma na hardverskoj platformi Bela koja je ključna za *real-time* sisteme. Jezici koji se mogu koristiti su *Csound* i *SuperCollider*, a grafički interfejs se može pisati u *JavaScript*-u.

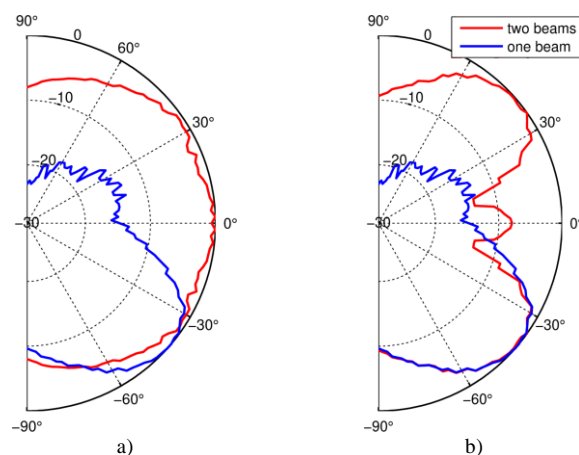
Ukoliko se u softveru ne izabere opcija za korišćenje audio ekspandera signal će biti u opsegu [0,1] i imaće jednosmernu komponentu od približno 0.44 V. To je posledica toga što Bela signale sa audio ekspandera čita kao analogne, a ne kao audio. Podešavanjima parametara na samoj platformi moguće je podesiti da ekspander automatski skalira signal sa [0, 1] na [-1, 1] i eliminiše jednosmernu komponentu.

Hardverska platforma Bela obrađuje blok po blok ulaznog signala i šalje ga na izlaz. Ovo Bela čini sistemom za obradu signala u realnom vremenu. Signal koji se pojavi na pinovima automatski se smešta u bafer, odakle biva iščitavan uz pomoć pomenutih funkcija za analogne signale.

#### IV. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Na slici 6 prikazani su rezultati simulacije za 1/3 oktavni frekvencijski opseg sa centralnom frekvencijom 1250 Hz za različite algoritme implementirane u ovom radu. Sa slike 6 a) se jasno vidi problem širine lobova kod rešenja u kom se koriste odvojeni zvučnici za formiranje dva glavna loba. Na slici 6 b) je rešenje sa kombinovanim zvučnicima kod koga možemo uvideti da rešava pomenuti problem.

Merenje je izvršeno u anehoičnoj sobi na Elektrotehničkom fakultetu. Za eksperiment je korišćen neusmereni merni mikروفon [5]. Snimane su vertikalna i horizontalna karakteristika usmerenosti zvučničkog niza. Mikrofonom je meren nivo zvuka u tačkama na zamišljenoj kružnici poluprečnika  $D$ . Rezolucija merenja je  $15^\circ$ .

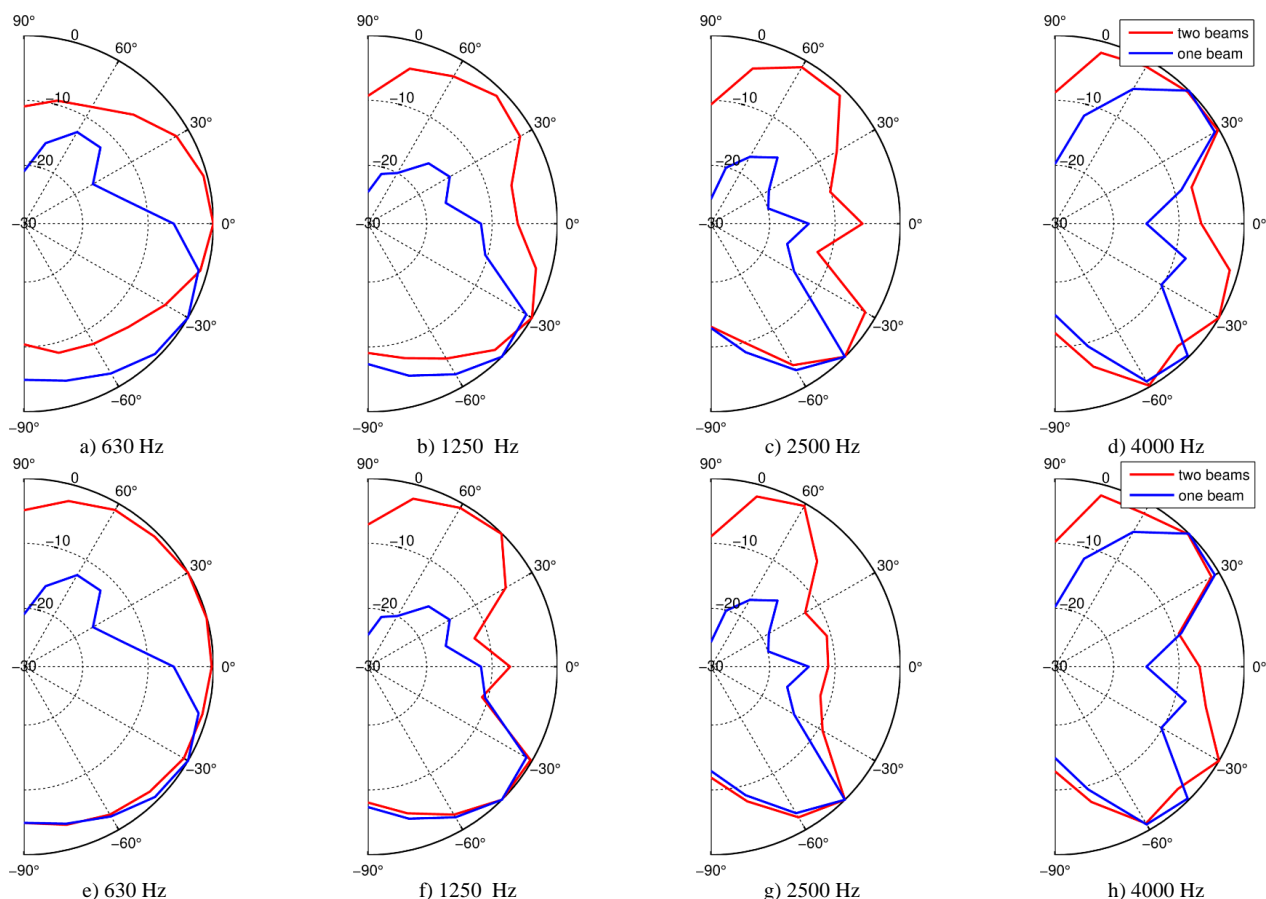


Sl. 6. Vertikalni dijagram usmerenosti zvučničkog niza na frekvenciji 1250 Hz za algoritam: a) sa odvojenim zvučnicima, b) sa kombinovanim zvučnicima.

Signal koji se šalje na procesor je MLS (Maximum-Length Sequence) sekvenca [6]. Poznato je da zvučnički nizovi kod kojih su zvučnici raspoređeni samo po jednoj dimenziji nisu u stanju da usmeravaju zvuk van te dimenzije. U eksperimentu zvučnik je postavljen vertikalno, te on nije u stanju da usmerava zvuk horizontalno. To je potvrđeno i u eksperimentima, horizontalni dijagram usmerenosti se ne menja korišćenjem algoritama za prostorno-vremensku obradu signala.

Na slici 7 prikazani su rezultati merenja pomenutih algoritama za različite opsege. Na slikama od a) do d) prikazani su dijagrami usmerenosti na različitim frekvencijama za prvo i drugo rešenje. Plavom bojom označeni su dijagrami usmerenosti za prvo, a crvenom bojom za drugo rešenje. U prvom rešenju signal se usmerava ka jednoj tački u prostoru koja se nalazi na rastojanju 2 m od centra zvučničkog niza i pod uglom od  $-45^\circ$ . Drugo rešenje predstavlja usmeravanje zvuka ka dve tačke sa odvojenim zvučnicima. Tačke se nalaze na rastojanju od 2 m pod uglovima od  $-45^\circ$  i  $45^\circ$ . Na slikama od e) do h) prikazani su dijagrami usmerenosti za prvo i treće rešenje. Plavom bojom je označen dijagram usmerenosti prvog, a crvenom trećeg rešenja. Treće rešenje podrazumeva usmeravanje signala ka dve tačke u prostoru sa svih 8 zvučnika. Tačke prema kojima se usmerava su identične kao i za prethodni slučaj.

Posmatrajući dijagrame usmerenosti za prvo rešenje dolazimo do određenih zaključaka. Merenja pokazuju da je zbog velike talasne dužine usmeravanje signala na niskim frekvencijama jedva primetno. Na višim frekvencijama usmeravanje signala se povećava, ali se povećava i veličina bočnih lobova. Sa slika se može videti da su u opsegu 4000 Hz glavni i sporedni bočni lob gotovo jednaki. Usmeravanje signala ka jednoj tački dovelo je do neželjenog usmeravanja signala ka još jednoj tački u prostoru. Na ovaj način gubi se deo energije, budući da se ne emituje u željenom pravcu. Izgled bočnog loba zavisi od frekvencije i rastojanja između zvučnika na zvučničkom nizu, te na to ne možemo uticati.



Sl. 7. Vertikalni dijagram usmerenosti zvučnog niza u slučaju usmeravanja zvuka ka jednoj tački (plava boja) i u slučaju usmeravanja zvuka ka dvema tačkama sa odvojenim zvučnicima na frekvencijama a) 630 Hz b) 1250 Hz c) 2500 Hz i d) 4000 Hz i u slučaju usmeravanja zvuka ka dvema tačkama sa kombinovanim zvučnicima na frekvencijama e) 630 Hz f) 1250 Hz g) 2500 Hz i h) 4000 Hz

Drugo i treće rešenje pokazuju da je moguće istovremeno softverski uticati na pravce u kojima će se signal emitovati. Ova rešenja su primenjiva u situacijama kada želimo da direktnim zvukom pokrijemo više različitih auditorijuma. Kao i kod prvog rešenja na nižim frekvencijama usmerenost je relativno mala, a na višim frekvencijama se uočava jasna pojava dva loba pod uglovima od  $-45^\circ$  i  $45^\circ$ . Problem koji se javlja kod drugog rešenja jeste velika širina lobova na visokim učestanostima. Do smanjenja usmerenosti dovodi korišćenje samo polovine zvučnika. Treće rešenje koje je pomenuto rešava ovaj problem. Korišćenje svih osam zvučnika daje mogućnost boljeg usmeravanja signala. Možemo primetiti da su u ovom slučaju lobovi uži u odnosu na prethodni slučaj. Takođe, lobovi u ovom rešenju se gotovo podudaraju sa širinom glavnog loba iz prvog rešenja.

## V. ZAKLJUČAK

Rezultati koji su dobijeni prikazuju da je moguće softverskom obradom signala upravljati širinom i pozicijom snopova signala. Pokazano je da je moguće dodati još jedan nezavisni snop signala bez kvarenja već postojećeg snopa. Takođe, rešen je problem koji se javlja prilikom korišćenja polovine zvučnika za usmeravanje zvuka ka dvema tačkama. Značaj dobijenih rezultata leži u činjenici da su ova rešenja primenjiva u praksi. Rezultati eksperimenata pokazuju dobro

poklapanje sa rezultatima simulacije, čime je potvrđena validnost simulacionog modela.

Budući rad će obuhvatati rešenja kod kojih će se drugačije računati kašnjenja. Moguće je za konkretnu geometriju niza i konkretan frekventijski opseg naći optimalna kašnjenja pomoću optimizacionog algoritma. Kašnjenja bi se razlikovala u zavisnosti od uslova koji bi se postavio. Neki od uslova bi mogli biti da odnos glavnih i bočnih lobova bude minimalan ili da širina lobova bude minimalna.

Na samom početku rada pomenuto je da je nemoguće u potpunosti eliminisati bočne lobove jer oni nisu samo posledica frekvencije na kojoj se signal šalje, već i geometrije niza. Još neka poboljšanja postojećih rešenja mogla bi se ogledati u tome da je moguće odrediti kojih 8 od 12 zvučnika je optimalno koristiti na zvučničkom nizu da bi se smanjio uticaj bočnih lobova. Takođe, problem bočnih lobova je moguće rešiti optimalnim rasporedom zvučnika na zvučničkom nizu, odnosno menjanjem geometrije niza.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta TR 36026 koga finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.



## LITERATURA

- [1] M. Bjelić, A. Golubović, M. MihiGolubović, M. MihiGolubović, M. Mijić, "Realizacija zvučnog sistema sa softverskom kontrolom usmerenosti," Beograd, Srbija, 2020
- [2] Chuang Shi, Yoshinobu Kajikawa, Woon-Seng Gan, "Generating dual beams from a single steerable parametric loudspeaker", Osaka, Japan, 2015
- [3] Miomir Mijić, Dragana Šumarac Pavlović, Miloš Bjelić, Miodrag Stanojević, Laboratorijski model zvučnog stuba sa softverski kontrolisanom usmerenošću, Tehničko rešenje 2015
- [4] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na: <https://learn.bela.io/>, pristupano 14.4.2022.
- [5] Tehnička dokumentacija proizvođača: [.http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/MiniSPL-Measurement](http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/MiniSPL-Measurement)
- [6] A. Mitra: On the Properties of Pseudo Noise Sequences with a Simple Proposal of Randomness Test, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Scholarly and Scientific Research and Innovation, Vol. 2, No .9, 2008, pp. 631 – 636.

## ABSTRACT

This paper presents the implementation of software-oriented speaker systems. Software and hardware implemented directional speaker systems, in addition to increasing the sound level in a given

direction, also lead to a reduction in reverberation. The implementation used a speaker array and a processor on which three different signal processing algorithms are executed. The first solution involves directing the sound to one set point, and the second and third solutions involve directing the sound to two points that are arbitrarily set. The emphasis of the paper is on the second and third solutions used in cases when we want to provide coverage of two directions in the auditorium. In addition to three independent algorithms, the paper also presents a simulation that can be used to predict directional diagrams in all three cases. The results of the algorithm were quantified by measuring the directivity diagrams in 1/3 octave frequency bands. The details of the implementation and the details to pay attention to when working with hardware Bela platform will be mentioned. The paper presents the improvements obtained by using two, instead of one sound beam.

### **Implementation of speaker array directional control algorithms with two main lobes on open hardware**

Tijana Đorđević, Stefan Aćimović, Miloš Bjelić