

Analiza upotrebljivosti ekonomičnog audio hardvera prilikom snimanja impulsnih odziva prostorije

Marko Ličanin, Dejan Ćirić, Darko Mihajlov i Momir Prašćević

Apstrakt—Monitoring i analiza buke u životnoj sredini, prema trenutnim standardima i metodologijama zahteva korišćenje opreme visoke preciznosti čija cena može biti izuzetno visoka. Zbog toga je monitoringom teško pokriti šira područja gde je nivo buke potrebno pratiti u većem broju tačaka. Postavlja se pitanje da li je moguće vršiti monitoring koristeći ekonomičnija rešenja čime bi se povećao broj mernih lokacija. Prvi korak u analizi ovakvih rešenja je ispitivanje tehničkih karakteristika dostupnog hardvera koji se može iskoristiti u svrhu snimanja audio signala. Ubrzani razvoj mikro računara omogućio je njihovu integraciju u različitim projektima, gde oni služe kao centralne jedinice za obradu signala. Razvoj i unapređenje novih generacija senzora različitog tipa, imajući u vidu njihove niske cene na tržištu, omogućava praćenje velikog broja fizičkih i hemijskih veličina široj populaciji stručnjaka i entuzijasta. Istraživanje koje je ovde prezentovano odnosi se na analizu rada MEMS mikrofona kao jednog od pomenutih senzorskih uređaja, kada se on u sprezi sa Raspberry Pi mikroracunarom koristi za snimanje impulsnog odziva prostorije. Izvršeno je poređenje rezultata sa onim dobijenim mernom akustičkom opremom u istim uslovima rada.

Ključne reči—Impulsní odziv, MEMS mikrofón, Latencija, Ponovljivost merenja, Raspberry Pi.

I. UVOD

Generacije mikroracunara koje se pojavljuju poslednjih godina poseduju visoke performanse i veliki broj ulazno-izlaznih periferija. Fleksibilnost koju ovu uređaji nose u smislu programabilnosti i skalabilnosti, mala potrošnja energije i niska cena daju veliku prednost u odnosu na komercijalnu mernu opremu [1]. Jedan od tipičnih predstavnika je Raspberry Pi (RPi) [2] mikroracunar (trenutno četvrte generacije) koji ima sledeće karakteristike:

- Broadcom, Quad core Cortex-A72 (ARM v8);
- 8GB LPDDR4-3200 SDRAM;
- 2.4 GHz i 5.0 GHz wireless, Bluetooth 5.0, BLE;
- Gigabit Ethernet;
- 2 USB 3.0 porta; 2 USB 2.0 porta;
- Raspberry Pi standard 40 pin GPIO;

Marko Ličanin – Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Čarnojevića 10A, 18106 Niš, Srbija (e-mail: marko.licanin@znrfak.ni.ac.rs).

Dejan Ćirić – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14 18115 Niš, Srbija (e-mail: dejan.ciric@elfak.ni.ac.rs).

Darko Mihajlov – Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Čarnojevića 10A, 18106 Niš, Srbija (e-mail: darko.mihajlov@znrfak.ni.ac.rs).

Momir Prašćević – Univerzitet u Nišu Fakultet zaštite na radu u Nišu, Čarnojevića 10A, 18106 Niš, Srbija (e-mail: momir.prascevic@znrfak.ni.ac.rs).

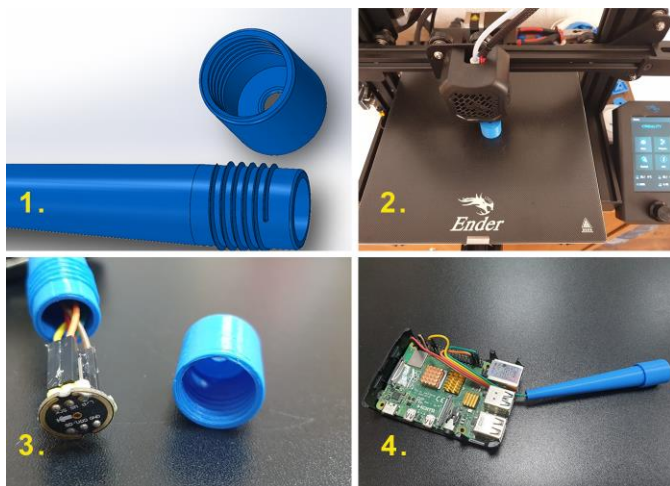
- 2 × micro-HDMI porta;
- 4-polni stereo audio i kompozitni video port;
- 3.5 mm analogni audio konektor.

Procesna moć ovakvog uređaja se približava performansama desktop računara uz značajno nižu potrošnju električne energije, što ga čini izuzetno primenljivim u uređajima koji se mogu napajati baterijski ili solarnom energijom. Upravo iz tog razloga, autori rada vršili su ispitivanje mogućnosti za iskorišćenje RPi pri snimanju audio signala, kao centralne jedinice za monitoring buke. Akustički senzor (mikrofon) koji je kompatibilan sa RPi je MEMS mikrofón INMP441. Vršeno je merenje impulsnog odziva prostorije korišćenjem RPi i INMP441 u dva stanja rada RPi. Snimanja su ponovljena korišćenjem merne akustičke opreme povezane na RPi i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata. Za izdvajanje odziva upotrebljena je *swept-sine* tehnika [3][4]. Analiza je urađena tako što su određene vršne vrednosti i latencije impulsnih odziva, i rezultati su predstavljeni grafički.

II. POVEZIVANJE OPREME I PROCES MERENJA

A. Povezivanje MEMS mikrofona

INMP441 je minijaturni MEMS mikrofón montiran na okruglu PCB pločicu sa pratećim SMD komponentama. Kako bi se simulirao izgled komercijalnog mikrofona, dizajnirano je kućište u programskom paketu SolidWorks. Ovo je prikazano na Slici 1, označeno žutom bojom i brojem 1. Model kućišta je zatim odštampan na 3D štampaču Creality Ender 3 V2.



Sl. 1. Realizacija MEMS mikrofona sa kućištem i povezivanje sa Raspberry Pi računaram. Brojevi označavaju korake u realizaciji.

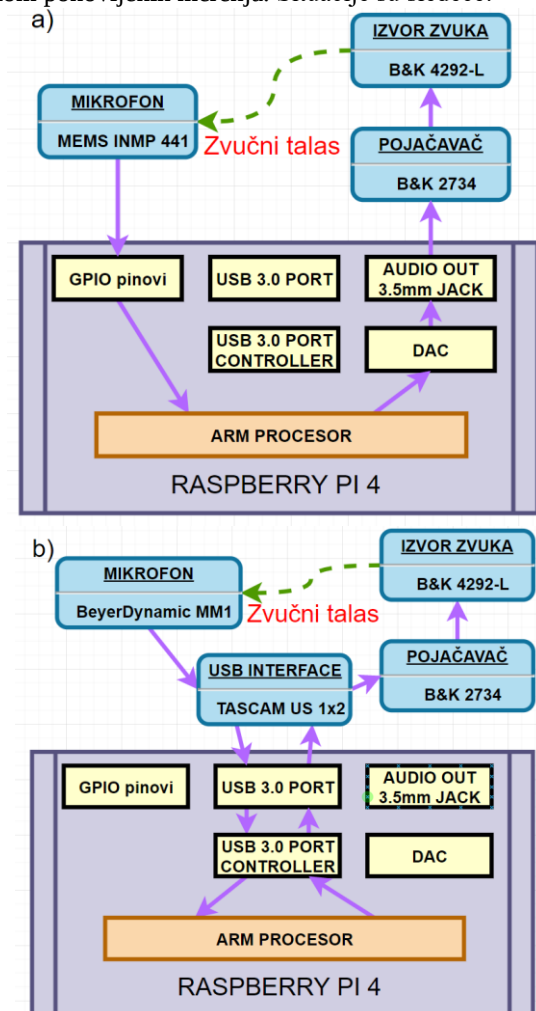
Nakon 3D štampe, montiran je mikrofoni u kućište i zaštitna kapsula sa otvorom. MEMS mikrofoni je zatim povezan na RPi na odgovarajuće pinove 40-pinskog konektora i u programskom jeziku Python napisana skripta za testiranje procesa snimanja.

B. Povezivanje ostale opreme

Oprema korišćena u procesu ispitivanja je sledeća :

- MEMS mikrofoni InvenSense I2S INMP441;
- Merni kondenzatorski mikrofoni BeyerDynamic MM1;
- USB interfejs (zvučna kartica) Tascam US2x1;
- Brüel & Kjær pojačavač tip 2734;
- Brüel & Kjær omni-direkcionni referentni izvor zvuka tip 4292-L;

Navedenom opremom realizovane su dve situacije koje su grafički prikazane na Slici 2. Razlog za to je ispitivanje uticaja različitog hardvera i putanja audio signala na latenciju impulsnog odziva prostorije, kao i na ponovljivost latencije prilikom ponovljenih merenja. Situacije su sledeće:



Sl. 2. Grafički prikaz povezivanja mernog lanca u situaciji kada je korišćen MEMS mikrofoni (a) i situaciji kada je korišćena merna oprema (b).

- Situacija 1 – MEMS mikrofoni INMP 441 povezan je preko pinova sa RPi. I2S drajver uvodi signal sa mikrofona direktno u ARM procesor (Slika 2. a)). Signal reprodukcije

se konvertuje preko DA konvertora i kao analogni vodi na pojačavač. Ova situacija bi trebalo da pokaže minimalnu latenciju s obzirom da je putanja kretanja signala minimalna i da nema mnogo hardvera kroz koji signal prolazi [5].

- Situacija 2 – Na RPi vezan je USB interfejs Tascam US 1x2 (zvučna kartica) preko koga se odvija snimanje i reprodukcija, između interfejsa i procesora postoji i USB 3.0 kontroler koji može uneti određeno kašnjenje, na ulaz USB interfejsa vezan je BeyerDynamic kondenzatorski mikrofoni, dok je izlaz odakle se vrši reprodukcija povezan na pojačavač B&K 2734 (Slika 2. b)). Putanja kretanja signala je u ovom slučaju duža u odnosu na situaciju 1, te je očekivano da latencija ima višu vrednost [5].

C. Proces izdvajanja impulsnih odziva

Kako bi se izdvojili impulsnii odzivi prostorije korišćena je tehnika snimanja pobudnim signalom promenljive sinusoide razvučene u vremenu (*swept-sine* ili *sweep* tehnika). U programskom paketu Python generisan je *swept-sine* signal i njegov inverzni filter. Signal je reprodukovano preko omni-direkcionalnog referentnog izvora zvuka B&K 4292-L i vršeno je snimanje odziva prostorije. Snimljeni signal se zatim konvoluira sa inverznim filtrom, čime se dobija impulsnii odziv prostorije [6].

D. Tok merenja

Merenja su izvršena podešavajući RPi u dva stanja:

- Stanje 1 - RPi GUI je uključen;
- Stanje 2 - RPi GUI je isključen.

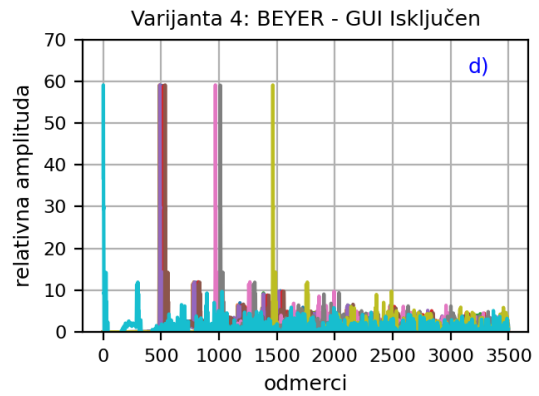
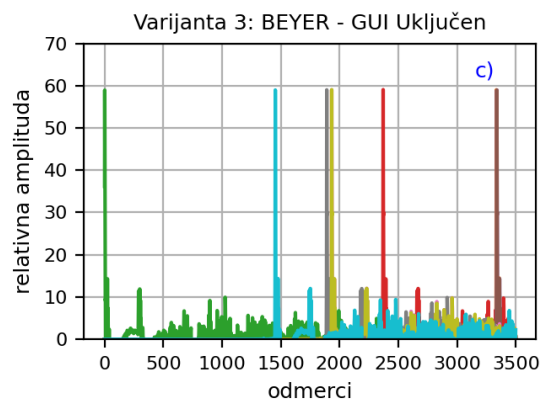
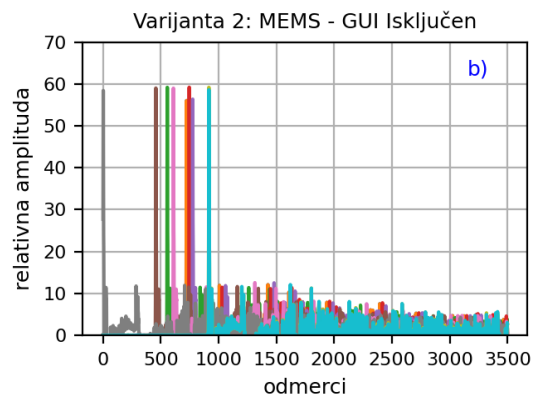
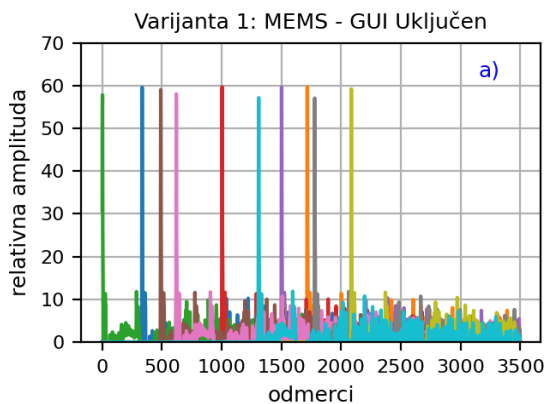
Stanje 1 podrazumeva korišćenje monitora ili udaljeno povezivanje RPi računara preko VNC servisa na pristupni terminal (u ovom slučaju laptop). Linux sistem se kontroliše kroz Desktop aplikaciju i odatle pokreće Python skripta za snimanje i reprodukciju. Stanje 2 podrazumeva ukidanje rada grafičkog interfejsa. RPi računaru se pristupa preko udaljenog terminala (laptop) preko SSH servisa i uređaj kontroliše komandama u Linux terminalu. Ova analiza izvršena je u cilju ispitivanja uticaja rada Linux grafičkog okruženja na performanse rada audio hardvera i RPi računara, prvenstveno kada se koristi MEMS mikrofoni u kombinaciji sa RPi. Iz tog razloga izvršeno je snimanje impulsnih odziva u četiri varijante:

- Varijanta 1 (Situacija 1-Stanje 1): Povezan MEMS mikrofoni, GUI uključen, 10 snimljenih odziva;
- Varijanta 2 (Situacija 1-Stanje 2): Povezan MEMS mikrofoni, GUI isključen, 10 snimljenih odziva;
- Varijanta 3 (Situacija 2-Stanje 1): Povezan BeyerDynamic mikrofoni i Tascam USB interfejs, GUI uključen, 10 snimljenih odziva;
- Varijanta 4 (Situacija 2-Stanje 2): Povezan BeyerDynamic mikrofoni i Tascam USB interfejs, GUI isključen, 10 snimljenih odziva.

Koristeći interno napisane Python skripte izvršena je obrada podataka i izdvajanje impulsnih odziva, koji su zatim analizirani.

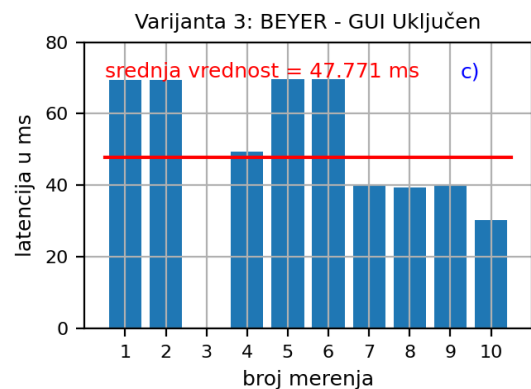
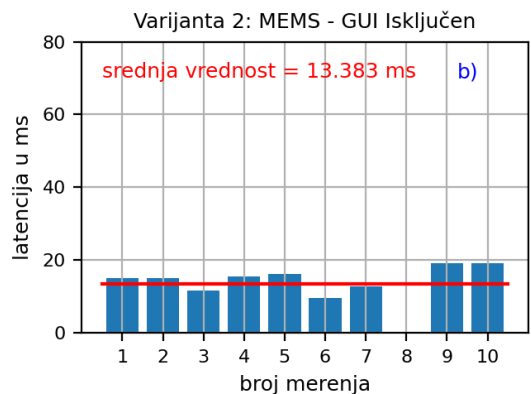
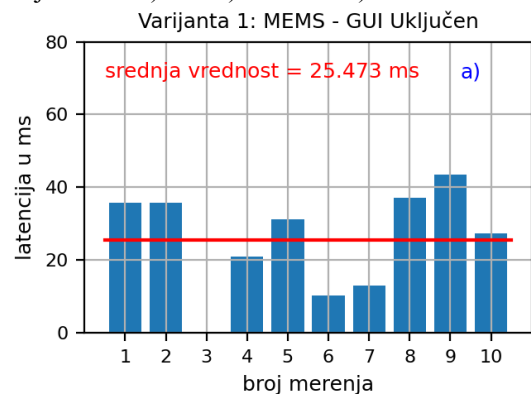
III. REZULTATI

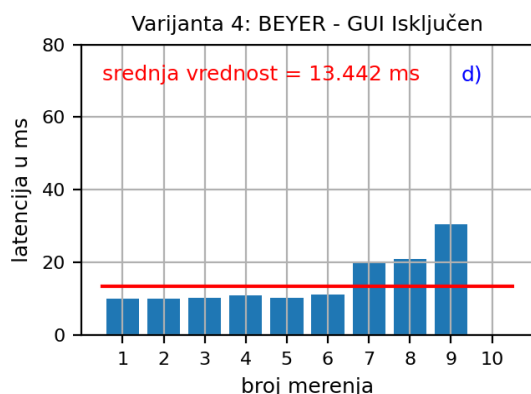
Na Slici 3 prikazani su oblici izdvojenih impulsnih odziva (kao unipolarni signali) za svaku od prethodno pomenutih varijanti i njihov pomeraj u vremenu, odnosno latencija. Latencija je određena kao relativno kašnjenje ostalih impulsnih odziva u odnosu na najmanje zakašnjeni impulsni odziv. Poređenjem varijanti 1 i 2 (Slike 3.a) i 3.b)) može se zaključiti da isključenjem grafičkog interfejsa dolazi do značajno boljeg grupisanja impulsnih odziva i smanjenja latencije. Isti zaključak je moguće doneti ukoliko se uporede rezultati kod varijanti 3 i 4 (Slike 3.c) i 3.d)). Kada se koristi merna oprema umesto MEMS mikrofona, takođe dolazi do smanjenja latencije isključenjem grafičkog interfejsa na RPi. Poređenjem situacija 1 i 2 kada je u pitanju latencija, može se zaključiti da ona ima manju vrednost u korist situacije 1 (poređenje slika 3.a) sa 3.c) i 3.b sa 3.d)



Sl. 3. Raspored impulsnih odziva predstavljen u odnosu na najmanje zakašnjeni odziv kod koga je latencija 0. Rezultati su dati za različite varijante merenja (varijante 1-4 odgovaraju slikama a)-d) respektivno).

Analiza ponovljivosti latencije može se bolje uvideti na Slici 4. Primetno je da srednja vrednost latencije impulsnih odziva opada značajno isključenjem grafičkog interfejsa RPi (poređenje slika 4.a) sa 4.b) i 4.c sa 4.d).

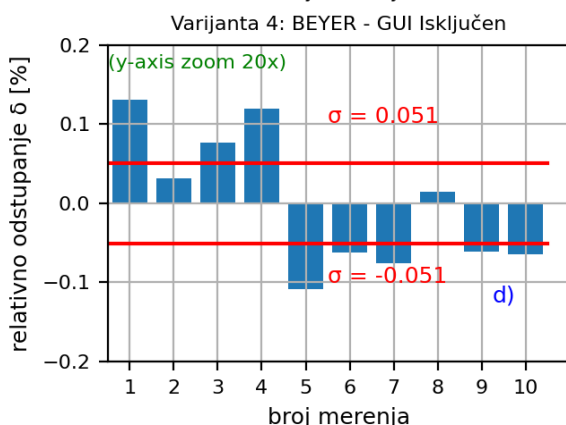
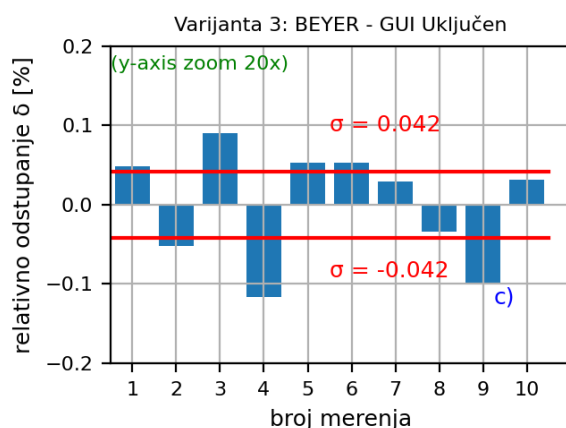
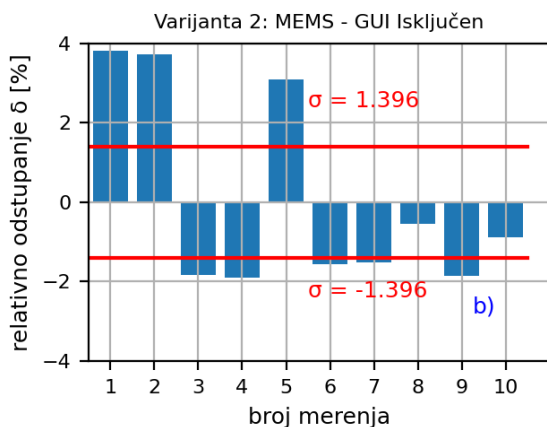
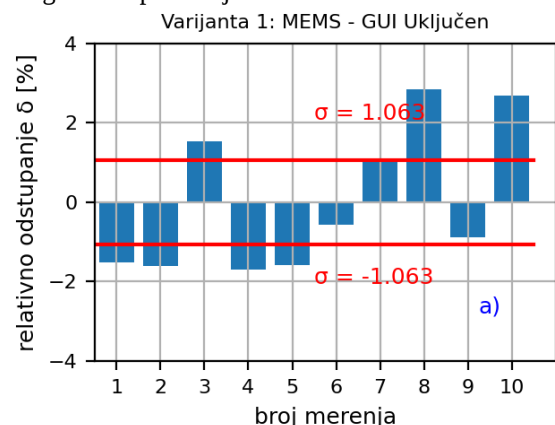




Sl. 4. Latencija impulsnih odziva u milisekundama predstavljena u odnosu na najmanje zakašnjeni odziv. Rezultati su dati za različite varijante merenja (varijante 1-4 odgovaraju slikama a)-d) respektivno).

Posmatranjem varijante 2 na Slici 4.b) može se utvrditi da je ponovljivost latencije izuzetno dobra za slučaj kada je grafički interfejs isključen. To dovodi do zaključka da sa stanovišta ponovljivosti latencije, sasvim je validno koristiti MEMS mikrofoni u kombinaciji sa RPi, kao i da je neophodno isključiti grafički interfejs mikroračunara RPi.

Poslednja analiza odnosi se na ponovljivost amplituda impulsnog odziva prostorije. Kao i u prethodnim slučajevima, vršeno je merenje u četiri varijante, što je prikazano na Slici 5. Na y osama bar grafika prikazano je relativno odstupanje pojedinačnih amplituda od srednje proračunate vrednosti za 10 merenja. Na x osama obeležen je redni broj merenja impulsnog odziva prostorije.



Sl. 5. Relativno odstupanje amplituda impulsnih odziva od srednje vrednosti proračunate za 10 merenja. Rezultati su dati za različite varijante merenja (varijante 1-4 odgovaraju slikama a)-d) respektivno).

Posmatrajući varijante 3 i 4 (Slika 5.c) i 5.d)), i poredeći rezultate sa varijantama 1 i 2, (Slika 5.a) i 5.b)) može se zaključiti da je ponovljivost amplituda značajno bolja kada je u pitanju merna oprema u odnosu na MEMS mikrofoni. X – osa je u slučaju prezentovanih rezultata kod merne opreme uveličana 20 puta kako bi se uočila razlika u amplitudama. Takođe se može zaključiti da promena stanja kod RPi (uključenje ili isključenje grafičkog interfejsa) ne utiče na promenu ponovljivosti amplitude impulsnih odziva.

IV. ZAKLJUČAK

Izvršena ispitivanja predstavljaju samo jedan od koraka u evaluaciji ograničenja i prednosti koje pruža ekonomični hardver pri korišćenju u audio aplikacijama. Vršena je analiza ponovljivosti latencije i amplitude impulsnih odziva prostorije u četiri varijante. Sagledavan je uticaj grafičkog interfejsa na latenciju i amplitudu impulsnih odziva. Analiza je urađena za slučaj kada je MEMS mikrofoni povezan na Raspberry Pi 4, kao i za slučaj kada je kao audio interfejs korišćena USB kartica sa mernim mikrofonom.

Ispitivanje je pokazalo da postoji značajan uticaj grafičkog interfejsa na ponovljivost latencije čime je utvrđeno da je bolje raditi samo sa Linux terminalom kada je audio snimanje u pitanju. Pokazano je MEMS mikrofoni imaju ograničenja po pitanju amplitude kada se rezultati ponovljivosti amplituda porede sa ponovljivošću kod studijske opreme.

U budućnosti treba izvršiti dalja ispitivanja, koja se odnose

na ponovljivost frekvencijskih karakteristika impulsnih odziva, kao i ovde prezentovane rezultate potvrditi novim proširenim setom merenja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Deo opreme koji je iskorišćen u realizaciji rada nabavljen je u okviru Erasmus + projekta SENVIBE (ref. br. 598241-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP) koji je finansiran od strane Evropske unije.

LITERATURA

- [1] M. Ličanin, M. Prašćević, D. Mihajlov "Realization of the low-cost noise measurement monitoring station using MEMS microphone technology and micro-PC," In: Proc. of 26th International Conference: Noise and Vibration, pp. 133–136, Niš, Srbija: Fakultet zaštite na radu u Nišu, 2018.
- [2] D. Molloy, *Exploring Raspberry Pi: Interfacing to the Real World with Embedded Linux*, 1st ed. Springdale, Arkansas, US: Willey, June 13, 2016.
- [3] S. Müller S. P. Massarani, "Transfer-Function Measurement with Sweeps" J. Audio Eng. Soc., vol. 49, no. 6, pp. 443–471, 2001
- [4] S. Müller, "Measuring transfer-functions and impulse responses," in *Part I: Acoustic Signals and Systems*, in *Handbook of Signal Processing in Acoustics*, pp. 65–86, New York, USA: Springer Science, 2008
- [5] M. Jelenković, D. Ćirić, M. Ličanin, A. Đorđević "Ponovljivost impulsnog odziva prostorije," In: Zbornik radova konferencije ETRAN, Društvo za ETRAN, Banja Vrućica, Srbija, pp. AK.2.7-1–AK.2.7-4., 2011.
- [6] A. Farina, "Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion with a Swept-sine Technique," 108th Convention Audio Eng. Soc., abstract in J. Audio Eng. Soc., vol. 48, no. 4, p. 350, 2000.

ABSTRACT

Monitoring and analysis of environmental noise, according to current standards and methodology, requires the use of high-precision equipment whose price can be extremely high. Therefore, it is difficult to cover wider areas where noise levels need to be monitored at a large number of points. The question is if it is possible to perform the level supervision with low-cost solutions, which increases the number of measuring locations. The first step in the analysis of such solutions is to examine the technical characteristics of the available hardware that can be used for the purpose of recording audio signals. The accelerated development of microcomputers enables their integration into various projects, where they serve as central signal processing units. The development and improvement of new generations of sensors of different types, having in mind their low prices on the market, enables the monitoring of a large number of physical and chemical quantities by a wide population of experts and enthusiasts. Research presented here refers to the analysis of the operation of the MEMS microphone as one of the mentioned sensor devices, when it is used in conjunction with the Raspberry Pi microcomputer to record the room impulse responses. A comparison of the results with those obtained using the low-cost measurement acoustic equipment in the same working conditions have been done here.

Analysis of the usability of economical audio hardware when recording room impulse responses

Marko Ličanin, Dejan Ćirić, Darko Mihajlov, Momir Prašćević