

Primena multifraktala za detekciju koherentnih refleksija u impulsnom odzivu prostorija

Milan Pavlović, Nenad Kojić
Visoka ICT škola
Beograd, Srbija
milan.pavlovic@ict.edu.rs
nenad.kojic@ict.edu.rs

Dragan Ristić
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
ristic.dragan@gmail.com

Sadržaj— Analiza impulsnog odziva zauzima centralno mesto u akustici prostorija. U ovom radu je dat prikaz istraživanja koje je za cilj imalo ispitivanje mogućnosti primene multifraktala za detekciju koherentnih refleksija u impulsnom odzivu prostorije. Dobijeni rezultati pokazuju granice do kojih je moguće detektovati koherentne refleksije u impulsnom odzivu prostorije i potvrđuju pretpostavku autora da signal poseduje osobinu samosličnosti i da se samim tim multifraktali mogu primeniti za detektovanje koherentnih refleksija. Predložena metoda koristi raspodelu Holderovog eksponenta izračunatu za akustički impulsni odziv prostorije za otkrivanje prvih refleksija.

Ključne reči: akustika prostorija, impulsni odziv, multifraktali, koherentne refleksije

I. UVOD

Analiza prvih refleksija (PR) u impulsnom odzivu prostorije značajna je tema u akustičkom dizajnu koncertnih i operских sala [1, 2]. Njihov efekat može biti pojedinačan i zbirni. Jake PR u prostorijama unose koloraciju signala jer se koherentno superponiraju sa direktnim zvukom stvarajući efekat komb filtra, a njihov zbirni efekat manifestuje se kroz teksturu impulsnog odziva.

PR nisu uvek dovoljno jake i usamljene na vremenskoj osi da bi se mogle lako prepoznati pri pregledu dijagrama impulsnog odziva. Zbog toga je mogućnost njihove automatske detekcije u vremenskom ili prostornom domenu bila tema u literaturi [3-5]. Osnovna karakteristika PR je da predstavljaju manje ili više slične replike direktnog zvuka. Zbog toga PR imaju odlike determinističnog signala koji je definisan dužinom putanje od izvora zvuka do prijemne tačke [6]. Na toj činjenici se zasnivaju do sada predstavljeni postupci detekcije PR u prostoriji, jer koriste meru korelisanosti direktnog signala i refleksija.

U ovom radu je prikazana jedna metoda za detekciju koherentnih PR u impulsnom odzivu zasnovana na fraktalnoj teoriji. Fraktalna geometrija se zasniva na ideji da naizgled kompleksni i složeni oblici u prirodi pokazuju osobinu označenu kao samosličnost i koji se mogu kvantifikovati odgovarajućom fraktalnom dimenzijom [7]. Primeri ovakvih oblika u prirodi su brojni: morska obala, krošnja drveta, građa nervnog sistema. Fraktalne strukture se mogu i veštački

generisati primenom relativno prostih pravila. Prirodni fraktali za razliku od veštački generisanih, imaju različitu fraktalnu dimenziju pri različitim skalama, tj. njihova samosličnost ne može se opisati samo jednom vrednošću. Ako neka pojava iskazuje svojstva samosličnosti, koja u različitim skalama nisu ista mada jesu slična, onda se govori o multifraktalima. Za multifraktale je karakteristično da se ne mogu karakterisati jednom vrednošću (fraktalnom dimenzijom), već je potreban čitav niz vrednosti, tzv. multifraktalni spektar (spektar singulariteta) za njihovo opisivanje.

Multifraktali se prvi put javljaju u radovima Mandelbrota, tvorca fraktalne geometrije [8]. On je objedinio prethodna saznanja iz ove oblasti i uveo njenu primenu u različitim oblastima [7].

Fraktalna geometrija i multifraktali pružaju mogućnosti za analizu, opisivanje i klasifikaciju širokih klasa samosličnih signala [8, 10]. Tako je Loutridis analizirao mogućnost primene multifraktala za opštu analizu impulsnog odziva prostorije [11], i ustanovio da je širina multifraktalnog spektra u direktnoj vezi sa kompleksnošću strukture akustičkog impulsnog odziva. U ovom radu je uvedena hipoteza da se multifraktali mogu koristiti i za detekciju pojedinačnih refleksija. Polazna pretpostavka pri tome je da početni deo impulsnog odziva (oblast PR) karakteriše osobina samosličnosti, pa se na njega može primeniti analiza multifraktalnim metodama. Ova pretpostavka se nameće kao krajnje logična kada se posmatra proces nastanka impulsnog odziva.

Proces formiranja impulsnog odziva može se razumeti kao proces beskonačnog kopiranja direktnog zvuka kroz refleksije koje stižu sa kašnjenjem do prijemnika. Pod uticajem apsorpcije i skateringa sličnost refleksija sa direktnim, tj. prvim impulsom, opada sukcesivnim reflektovanjem, da bi u reverberacionom delu impulsnog odziva izgubile tu sličnost u potpunosti. U tom procesu koherentne PR pokazuju najveći stepen sličnosti sa direktnim zvukom jer su u najmanjoj meri izmenjene refleksijama, pa se na njih može primeniti analiza multifraktalnim metodama. Zbog toga je izvršena analiza mogućnosti detekcije koherentnih PR u impulsnom odzivu, a rezultati su prikazani u ovom radu.

Rad je organizovan na sledeći način: u narednom poglavlju dat je kratak pregled teorije o multifraktalima i uporišta za primenu multifraktala u akustici. Poglavlje III opisuje korišćenu metodologiju sa prikazom i analizom rezultata. Na kraju rada dat je zaključak i dalje smernice u istraživanju.

II. MULTIFRAKTALNA METODA ZA DETEKCIJU REFLEKSIJA

Kvantitativni opis multifraktalnih svojstava impulsnog odziva može se vršiti na razne načine. Svi oni imaju za cilj pronalaženje necelobrojnog eksponenta α koji opisuje lokalnu regularnost signala, označenog kao Hölder-ov eksponent, i zatim izračunavanje raspodele MF spektra. Ako se signal impulsnog odziva S podeli na nepreklapajuće prozore, formiraju se podskupovi podataka S_i dužine ε , takvi da je $S = \cup_i S_i$. Grubi Hölder-ov eksponent skupa S_i izračunava se po formuli (1):

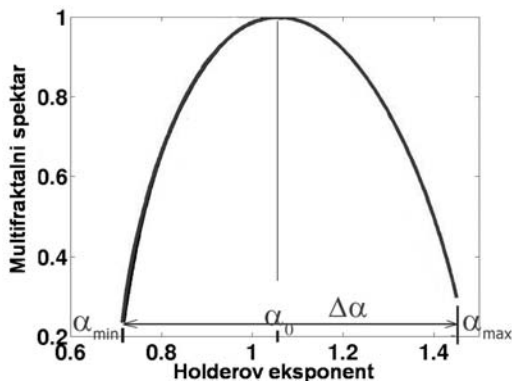
$$\alpha_i = \frac{\ln(\mu(S_i))}{\ln(\varepsilon)} \quad (1)$$

Pri čemu je α , njegova granična vrednost, kada $\varepsilon \rightarrow 0$ [9]:

$$\alpha = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (\alpha_i) \quad (2)$$

dok $\mu(S_i)$ mera koja karakteriše odgovarajući prozor, to jest podskup S_i . Kao mere $\mu(S_i)$ za posmatrani skup podataka mogu se koristiti različite vrednosti kao što su: maksimum, minimum, suma, devijacija i druge. Ove mere se normalizuju na sumu svih vrednosti veličine koja se posmatra. Raspodela eksponenta α u posmatranoj strukturi signala predstavlja MF spektar. On je definisan funkcijom $f(\alpha)$ koja prikazuje raspodelu prozora koji imaju vrednost Hölder-ovog eksponenta unutar nekog opsega $\alpha + d\alpha$. Kod prirodnih fraktala postoji raspodela vrednosti, takva da funkcija $f(\alpha)$ ima oblik parabole, prikazane na Sl. 1.

Bez obzira na tehniku koja se koristi za izračunavanje veličina α i $f(\alpha)$, one opisuju lokalnu i globalnu regularnost procesa koji se ispituje. Male vrednosti α označavaju signal koji se lokalno slabo menja, dok male vrednosti $f(\alpha)$ označavaju da je pojava koja ima lokalnu vrednost α slabo verovatna, i obrnuto, [12]. U MF analizi signala nagle promene njegovog intenziteta predstavljaju tačke gde se menja njegova regularnost (pravilnost). Takve „anomalije“ u signalu posmatraju se kao defekti u njegovoj strukturi, odnosno kao odstupanje od globalne regularnosti.



Slika 1. Prikaz multifraktalnog spektra, $f(\alpha)$

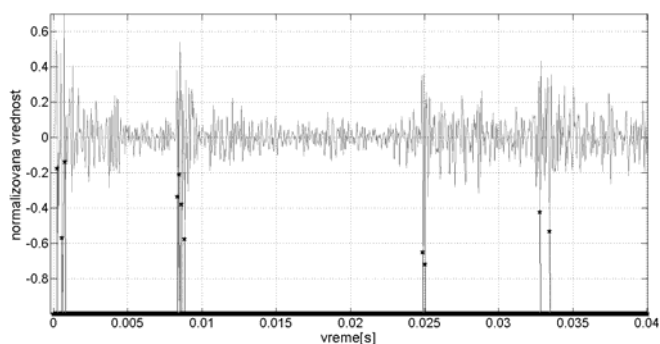
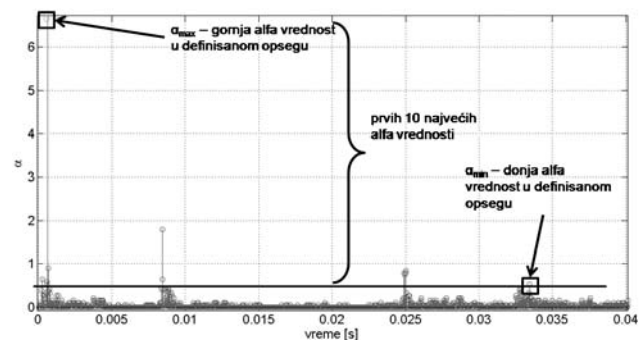
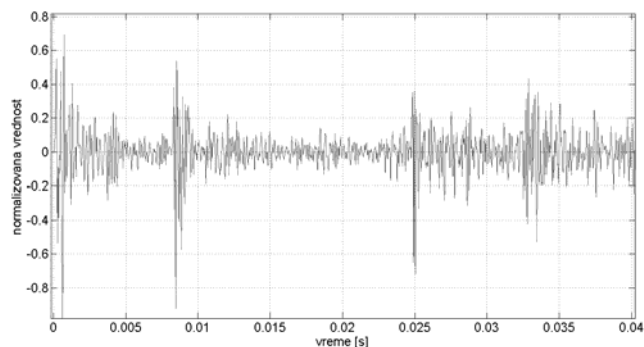
MF analiza se može koristiti za rešavanje široke klase problema u obradi signala kao robusan metod za opisivanje i izdvajanje nekih karakteristika sakrivenih u ogromnoj količini podataka. Sa aspekta MF analize u akustici prostorija pojava koherentnih PR se može tumačiti kao „tačka“ u impulsnom odzivu gde postoje „defekti“ u njegovoj strukturi. Na tim mestima, osim nagle promene intenziteta signala, menja se i njegova regularnost. Uzevši u obzir činjenicu da visoke vrednosti eksponenta α označavaju mesta u kojima se signal lokalno dosta menja, uvedena je pretpostavka da visoke vrednosti Hölder-ovog eksponenta α ukazuju na prisustvo prvih refleksija u impulsnom odzivu.

Za detekciju koherentnih PR u ovom radu korišćena je MF transformacija koja omogućava bidirekciono mapiranje vrednosti ulaznog signala u odgovarajuće vrednosti α i $f(\alpha)$. Primenom ovakve procedure omogućuje se izdvajanje delova signala koji pripadaju tačno određenim delovima MF spektra. Naime, moguće je zadati određeni opseg u raspodeli vrednosti Hölder-ovog eksponenta (α_{low} - α_{high}) iz MF spektra, i ustanoviti koji delovi ulaznog signala su odgovorni za formiranje tog opsega vrednosti parametra α . Za nalaženje α u ovom radu iskorišćena je klasična procedura opisana jednačinom (1) koja je potom modifikovana kako bi se uzela u obzir ograničenja koja sa sobom nosi diskretna predstava signala impulsnog odziva.

Na Sl. 2. ilustrovan je predloženi postupak za detekciju koherentnih PR na primeru impulsnog odziva snimljenog u modelu reverberacione prostorije. Gornja slika prikazuje izgled impulsnog odziva, dok je na slici u sredini dat prikaz raspodele izračunatih Hölder-ovih eksponenta za posmatrani impulсни odziv. Kao što je već pomenuto, pretpostavka je da velike vrednosti eksponenta α ukazuju na tačke u impulsnom odzivu gde se nalaze PR. Predloženi postupak detekcije bi se onda mogao posmatrati kao proces izdvajanja najvećih vrednosti eksponenta, odnosno opsega (α_{low} - α_{max}) iz dobijenog spektra.

U primeru prikazanom na slici donja granica α_{low} je odabrana tako da je izdvojeno 10 najvećih vrednosti eksponenta α . Iz ovako izdvojenih vrednosti eksponenta α inverznim postupkom se u signalu impulsnog odziva određuju refleksije odgovorne za nastanak ovih vrednosti α . Refleksije detektovane na ovaj način prikazane su na donjoj slici (označene zvezdicama). Broj refleksija koje se detektuju direktno zavisi od izbora opsega eksponenta α . Dobijeni rezultati pokazuju dobro slaganje između refleksija detektovanih pomoću multifraktala i onih koje se uočavaju golim okom. Prilikom vizuelne inspekcije posmatra se samo intenzitet refleksija, a nešto što nije toliko lako uočljivo u impulsnom odzivu je oblik ovih refleksija i njihova struktura.

Primena metoda za analizu multifraktala u detekciji refleksija omogućava da se pronikne u strukturu impulsnog odziva, odnosno da se potvrdi pretpostavka da je početni deo impulsnog odziva signal koji poseduje osobinu samsličnosti. Koherentne PR predstavljaju strukture u signalu impulsnog odziva koje povezuje zajednički parametar, vrednosti eksponenta α . Pravilan izbor eksponenta α predstavlja osnovni problem za ispravnu detekciju koherentnih refleksija.



Slika 2. Ilustracija postupka detekcije ER: gore - izgled analiziranog impulsnog odziva; u sredini - raspodela Hölder-ovog eksponenta i izdvajanje željenog opsega α_{low} - α_{max} ; dole - označena mesta gde su detektovane ER u impulsnom odzivu

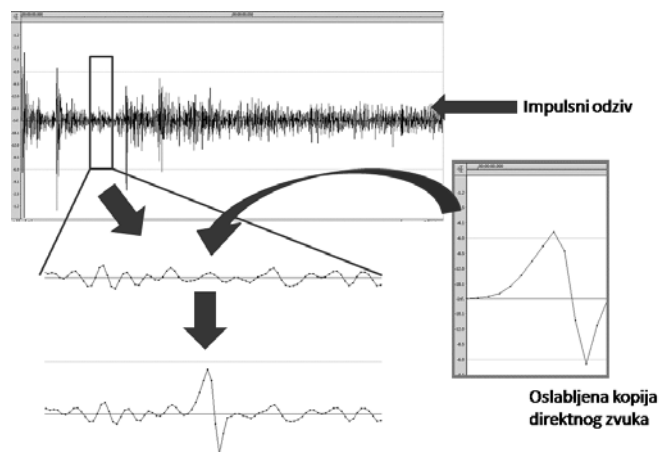
III. TESTIRANJE METODE I REZULTATI

Za procenu uspešnosti predloženog algoritma neophodno je poznavanje tačnog položaja svih prvih koherentnih refleksija u impulsnom odzivu. Zbog nepouzdanosti njihovog prepoznavanja ocena predloženog postupka detekcije izvršena je pomoću veštački ubačenih kontrolnih refleksija (KR). Kao kontrolne refleksije korišćene su oslabljene kopije direktnog zvuka (DK). Kontrolne refleksije su postavljane u definisanim vremenskim trenucima impulsnog odziva. Osnovna ideja za procenu uspešnosti metoda za detekciju bila je da se ispita da li je moguće i pod kojim uslovima detektovati umetnute kontrolne refleksije u impulsnom odzivu, Sl.3.

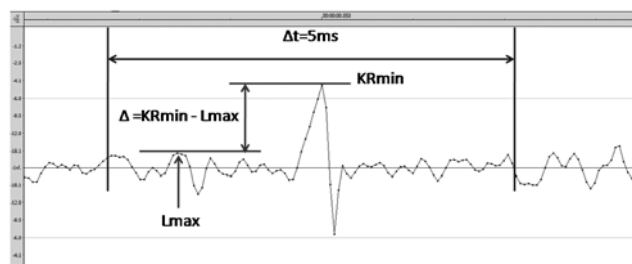
Kontrolne refleksije su smanjivane do nivoa kada prestaje njihova detekcija, ta vrednost nivoa KR je zabeležena kao KRmin.

Takođe, zabeležena je i vrednost nivoa lokalnog maksimuma (Lmax), dela impulsnog odziva širine 5ms, u okolini gde je umetnuta kontrolna refleksija. Kao parametri za ocenjivanje uspešnosti detekcije kontrolnih refleksija korišćeni su:

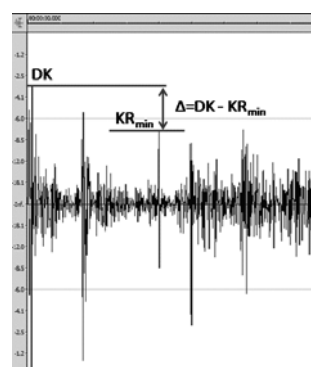
- Minimalna razlika ($KR_{min}-L_{max}$), koja pokazuje koliko se nivo kontrolne refleksije (KR_{min}) razlikuje od nivoa lokalnog maksimuma (L_{max}) dela impulsnog odziva gde je kontrolna refleksija uneta, Sl. 4;
- Maksimalna razlika ($DK-KR_{min}$), koja pokazuje koliko je nivo kontrolne refleksije (KR_{min}) umanjen u odnosu na nivo direktnog zvuka (DK), u trenutku kada prestaje njena detekcija, Sl. 5.



Slika 3. Prikaz umetanja oslabljene kopije direktnog zvuka u definisanom vremenskom trenutku impulsnog odziva



Slika 4. $KR_{min} - L_{max}$ kao ocena uspešnosti detektovanja kontrolne refleksije u impulsnom odzivu



Slika 5. $DK - KR_{min}$ kao ocena uspešnosti detektovanja kontrolne refleksije u impulsnom odzivu

Prvi parametar opisuje moć predloženog metoda, a drugi selektivnost. Eksperimentom su bili obuhvaćeni sledeći tipovi signala impulsnih odziva:

1. dva impulsa snimljena u dve operse sale (IR1 i IR2),
2. dva impulsa snimljena u laboratorijskim uslovima, u fizičkom modelu reverberacione komore napravljenom u razmeri 1:10 (IR3 i IR4).

Korišćeni impulsi odzivi IR1, IR2, IR3 i IR4 su dužine do 100 ms. Mesta (vremenski trenuci) u kojima su umetane kontrolne refleksije u impulsnom odzivu su u opsegu od 5 ms do 100 ms, a kao područje od interesa posmatran je početni deo impulsnog odziva. U tabeli I su dati relevantni podaci DK-KRmin za svaki korišćeni impulsni odziv u radu IR1, IR2, IR3 i IR4, na osnovu kojeg je prikazan dijagram na Sl. 6. gore. U tabeli II su dati relevantni podaci KRmin -Lmax za svaki korišćeni impulsni odziv u radu IR1, IR2, IR3 i IR4, na osnovu kojeg je prikazan dijagram na Sl. 6. dole.

Na Sl. 6. prikazani su rezultati procene uspešnosti predloženog algoritma za detekciju kontrolnih refleksija u ispitivanim IR. Dijagrami prikazuju granicu kada prestaje detekcija kontrolne refleksije koja je umetana na različitim pozicijama u signale impulsnog odziva. Najsvetliji dijagram prikazuje srednju vrednost dobijenih rezultata.

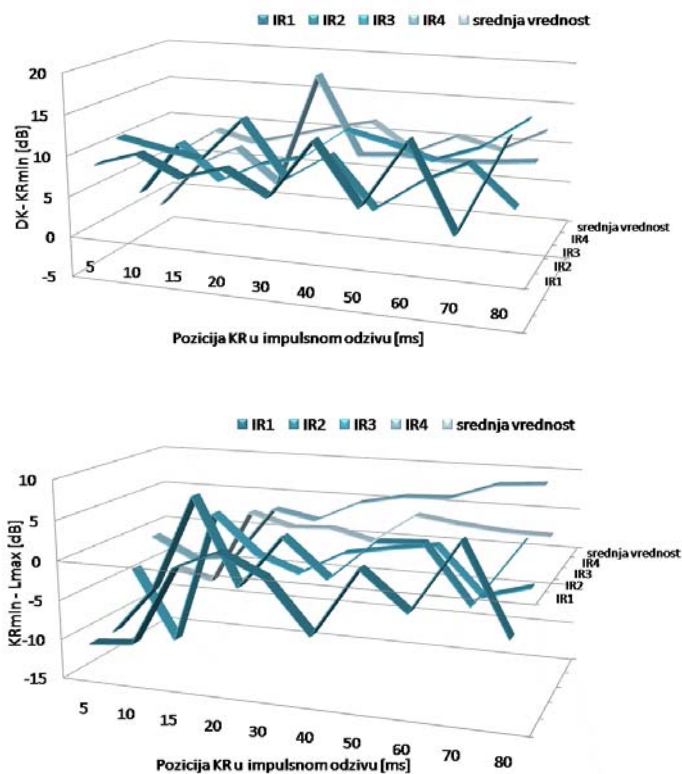
(DK-KRmin dijagram) pokazuju da je moguće detektovati KR koje su umanjene i do 10 dB u odnosu na direktni zvuk, pod uslovom da su mu slične. Rezultati prikazani na donjoj slici (KRmin -Lmax diagram) pokazuju da nivo KR može da bude znatno manji od svoje okoline a da one ipak bude detektovane. Iako grafici prikazani na Sl. 6. pokazuju različite granice detekcije za različite pozicije KR u impulsnom odzivu, one se ne mogu koristiti kao zaključci o uopštenim granicama do kad je moguća detekcija korišćenjem predložene metode. Dobijeni rezultati su jako zavisi od lokalnog oblika signala na mestima gde su umetnute kontrolne refleksije.

TABELA I. RELEVANTNI PODACI DK - KR_{MIN} ZA SVAKI IMPULSNI ODZIV IR1, IR2, IR3 I IR4

	DK - KR _{min} [dB]									
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
IR1	8.78	10.44	8.02	9.58	6.72	13.83	6.55	14.70	4.51	15.87
IR2	10.89	9.86	9.01	14.38	7.48	10.86	4.83	8.63	11.30	6.59
IR3	2.58	9.40	4.98	7.58	8.82	12.71	11.50	9.86	11.81	15.61
IR4	-0.54	5.37	7.95	3.81	18.12	8.38	8.81	8.47	8.82	9.37
Srednja vrednost	5.43	8.77	7.49	8.83	10.28	11.45	7.92	10.41	9.11	11.86
Vreme [ms]	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80

TABELA II. RELEVANTNI PODACI KR_{MIN} - L_{MAX} ZA SVAKI IMPULSNI ODZIV IR1, IR2, IR3 I IR4

	DK - KR _{min} [dB]									
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
IR1	8.78	10.44	8.02	9.58	6.72	13.83	6.55	14.70	4.51	15.87
IR2	10.89	9.86	9.01	14.38	7.48	10.86	4.83	8.63	11.30	6.59
IR3	2.58	9.40	4.98	7.58	8.82	12.71	11.50	9.86	11.81	15.61
IR4	-0.54	5.37	7.95	3.81	18.12	8.38	8.81	8.47	8.82	9.37
Srednja vrednost	5.43	8.77	7.49	8.83	10.28	11.45	7.92	10.41	9.11	11.86
Vreme [ms]	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80

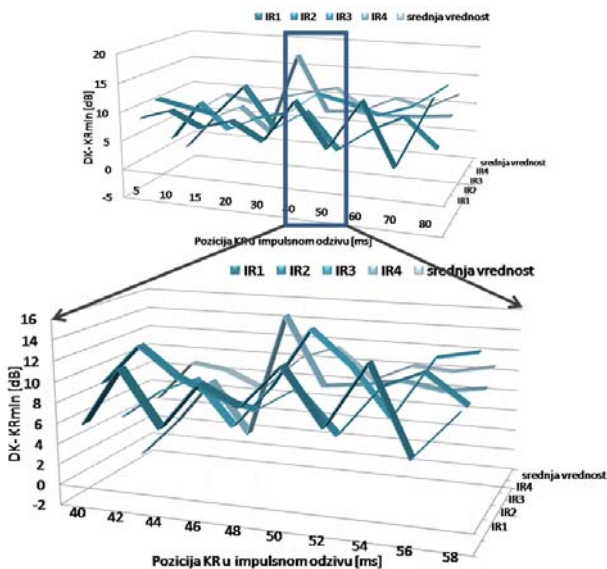


Slika 6. Rezultati procene uspešnosti predloženog metoda za ispitivane impulse odzive: maksimalna razlika DK-KRmin (slika gore), minimalna razlika KRmin -Lmax (slika dole)

Naime, KR koja se detektuje rezultat je mešanja oslabljene kopije direktnog zvuka sa signalom impulsnog odziva na mestu gde se kopija postavlja. U njihovom sabiranju dolazi do neminovne deformacije ubačene kopije, pri čemu se menja njen oblik i intenzitet. Ova deformacija presudno utiče na mogućnost detekcije umetnute komponente. Dakle, detekcija kontrolnih refleksija pomoću multifraktala ne zavisi od njihovog položaja na globalnom nivou (gde se KR nalazi na vremenskoj osi) već uglavnom (ako ne i isključivo) od lokalnog oblika signala gde se KR umeće. To se može pokazati ako bi se postupak detekcije kontrolnih refleksija sproveo u finijoj rezoluciji (kontrolne refleksije su umetane na 2 mS, umesto na 10 mS), Sl. 7.

Ovako dobijeni rezultati za granice detekcije uopšte ne prate globalno kretanje granice za period gde su umetane kontrolne refleksije, već bi se moglo reći da imaju „slučajni“ karakter kada je pozicija refleksija u pitanju. Odavde proizilazi da se granica detekcije može najobjektivnije proceniti kao srednja vrednost dobijenih rezultata za dati vremenski period.

Dijagrami srednje vrednosti dobijenih rezultata (označen plavom bojom) pokazuju da se uz pomoću predloženog algoritma detektuju KR koje su u proseku oslabljene za više od 10 dB i koje su u rangi ili niže od lokalnih maksimuma na mestima gde su umetnute. Takođe, dijagram srednje vrednosti pokazuje da je u početnom delu impulsnih odziva veća selektivnost predložene metode za detekciju kao posledica toga što su ovde PR ređe i izraženije.



Slika 7. Finija rezolucija za procenu uspešnosti predloženog metoda za ispitivane impulsne odzive: maksimalna razlika DK-KRmin

IV. ZAKLJUČAK

Automatizacija postupka detekcije prvih koherentnih refleksija u impulsnom odzivu prostorije treba da predstavlja dodatni alat u oceni akustičkih svojstva koncertnih sala. Metoda za detekciju koherentnih PR zasnovana na multifraktalnoj teoriji, tj. na raspodeli Holderovih eksponenta, u stanju je da opiše signal i sa lokalnog i sa globalnog stanovišta.

Rezultati dobijeni u istraživanju pokazuju da u slučaju realnih impulsnih odziva ovaj metod detektuje određeni broj koherentnih PR koje odgovaraju onima koje se mogu prepoznati vizuelnim putem na dijagramu. Prednost ove metode je što je u stanju da pronađe i one PR koje golim okom nisu lako uočljive uzimajući u obzir brzinu promene signala na pozicijama PR, odnosno oblik PR. Prilikom detekcije ovih refleksija algoritam uzima u obzir ne samo njihov intenzitet već i oblik, prvenstveno izražen kroz brzinu promene signala na tim mestima, odnosno promene u strukturi samog signala. Pretpostavka je autora da su refleksije koje su detektovane slične u toj meri da se one mogu smatrati koherentnim. Značaj ovih refleksija sa aspekta psihoakustike tek treba da bude razmotren. Performanse ostvarene sa realnim impulsnim odzivima je teško proceniti pošto tačne pozicije svih refleksija od značaja nisu poznate. Predloženi algoritam je delom imao za cilj i pronalaženje onih refleksija koje golim okom nisu uočljive, a od značaja su.

Rezultati dobijeni korišćenjem modifikovanih impulsnih odziva pokazuju da je predloženi metod u stanju da u potrazi za sličnim (koherentnim) refleksijama detektuje kontrolne refleksije koje su oslabljene i do 10 dB u odnosu na original. Ako insistiramo da rezultate izrazimo kroz konkretne vrednosti onda bi najtačnije bilo da prikazemo srednju vrednost dobijenih pragova detekcije, kako bi najbolje izrazili slučajan karakter procesa mešanja kontrolnih refleksija sa impulsnim odzivom na lokalnom nivou. Performanse ostvarene sa realnim

impulsnim odzivima je teško proceniti pošto tačne pozicije svih koherentnih refleksija od značaja nisu poznate. Rezultati dobijeni prilikom detekcije kontrolnih refleksija ubačenih u impulsni odziv pokazuju da njihova detekcija zavisi od ishoda mešanja sa signalom „podloge“ prilikom umetanja u impulsni odziv. Srednje vrednosti pragova detekcije onda najbolje kvantifikuju mogućnosti metode. Ovako dobijeni statistički rezultati idu u prilog činjenici da kada su prirodni multifraktali u pitanju možemo da govorimo samo o statističkoj samosličnosti.

LITERATURA

- [1] Beranek, L. L. Concert Halls and Opera Houses — Music, Acoustics, and Architecture, Springer, New York, 2004.
- [2] L. Beranek, T. Hidaka, “Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas”, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 107, No. 1, 2000, 368–383
- [3] Olive, Sean E.; Toole, Floyd E., “The Detection of Reflections in Typical Rooms”, *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 37, No. 7/8, 1989.
- [4] A.M. Noxon, “Correlation detection of early reflections”, AES 11th International Conference: Test & Measurement, Acoustic Sciences Corporation, Eugene, Oregon, 1992 May 29-31, Paper Number: 11-037
- [5] P. Guillemain, R. Kronland-Martinet, “Characterization of acoustic signals through continuous linear time-frequency representations,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 84, no. 4, pp. 561–585, 1996.
- [6] T. Hidaka, Y. Yamada and T. Nakagawa, “A new definition of boundary point between early reflections and late reverberation in room impulse responses”, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 122, No. 1, 2009, 326–332
- [7] B.B. Mandelbrot, “The Fractal Geometry of Nature”, WH Freeman, Oxford, 1983.
- [8] B.B. Mandelbrot, J.W. Van Ness, 1968. „Fractional Brownian Motion, Fractional Noises and Applications.“ *SIAM Review*, 1 (4), 422-437.
- [9] C. Evertsz, B. Mandelbrot, “Multifractal Measures”, Appendix B, in: H. Peitgen, H. Jurgens, P. Andrews (Eds.), *Andrews Chaos and Fractals*, Springer, Amsterdam, 1992.
- [10] I. S. Reljin, B. D. Reljin, “Fractal geometry and multifractals in analyzing and processing medical data and images”, *Archive of Oncology* 2002;10(4):283-93.
- [11] S. J. Loutridis, “Quantifying sound-field diffuseness in small rooms using multifractals,” *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 125, No. 3, March 2009.
- [12] R. H. Riedi, *Introduction to Multifractals*, Dept of ECE MS 366 Rice University, Houston TX, October 26, 1999. <http://www.itsec.gov.cn>

ABSTRACT

The analysis of impulse response is very important in room acoustic. This paper presents the research that goal was investigating the possibility of using multifractals for detection of coherent reflections in room impulse response. The results show the limits to which it is possible detecting coherent reflections in room impulse response and confirmed the assumption that the signal has the property of self-similarity and that multifractals can be applied for detection of coherent reflections. The proposed method uses a distribution of Holder exponent calculated for the room acoustic impulse response for detection of first reflections.

APPLICATION OF MULTIFRACTALS FOR DETECTION OF COHERENT REFLECTIONS IN ROOM IMPULSE RESPONSE

Milan Pavlović, Nenad Kojić, Dragan Ristić