

Realizacija osnovnih algoritama obrade audio signala u MATLAB[®]-u

Dušica Lukić, Mirjana Adnađević i Aleksandar Dikanović

Sadržaj — U ovom radu je prikazana analiza izabranih algoritama obrade audio signala. Svi izabrani algoritmi se mogu posmatrati kao jednostavni digitalni filtri ili kao složeniji sistemi koji predstavljaju kombinaciju elementarnih filtara. Za obradu je korišćen govorni signal, koji je generisan u programskom paketu MATLAB[®], trajanja 1 sekunde. U radu su prikazani primeri MATLAB[®] realizacije i dobijeni rezultati.

S obzirom na to da obrađivani signal nije snimljen u „gluvoj“ sobi, što predstavlja polaznu pretpostavku za datu analizu, dobijeni rezultati odstupaju od rezultata dobijenih u idealnim uslovima.

Ključne reči — audio signal, filtar, reverberacija.

I. UVOD

Obrada signala govora, muzike i zvuka uopšte, nesumnjivo ima veliku ulogu u očuvanju i poboljšanju njihovog kvaliteta. Sa razvojem uređaja za digitalno procesiranje signala, implementirani su veoma precizni i efikasni algoritmi koji imaju veliki uticaj u razvoju telekomunikacija, medicine, muzike i drugih naučnih i inženjerskih oblasti [1].

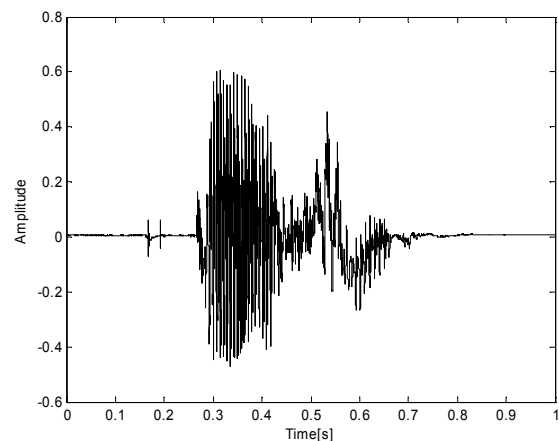
Prednosti, koje je digitalna tehnologija uvela u polje muzike, su omogućile realizaciju sofisticiranih algoritama za generisanje reverberacije, eha, kašnjenja, potiskivanje šuma i eliminaciju nepoželjnih frekvencija u govornom signalu [2]. Naknadna digitalna obrada audio signala je značajna iz razloga što muzici koja je generisana u studiju nedostaje „ambijentnost“. Činjenica da muzika snimljena u studiju ne zvuči prirodno je samo jedna strategija u studio dizajnu, jer je moguće veštačkim putem, uz pomoć digitalnih filtara, određene akustične osobine dodati zapisu nakon snimanja. Na ovaj način inženjeri imaju bolju kontrolu nad snimljenim materijalom, jer pomoću procesora kontrolišu reverberaciju, tako da zapis zvuči kao da je snimljen u maloj sobi, koncertnoj sali, crkvi itd. [3].

Pored uvodnog poglavlja (I), rad sadrži još četiri poglavlja. U drugom poglavlju (II) su navedeni osnovni tipovi filtara korišćeni u radu. Treće poglavlje (III) opisuje filtre kojima se polaznim signalima dodaje eho. U četvrtom poglavlju (IV) dat je primer jednog jednostavnog i jednog složenijeg sistema za kontrolu reverberacije. U

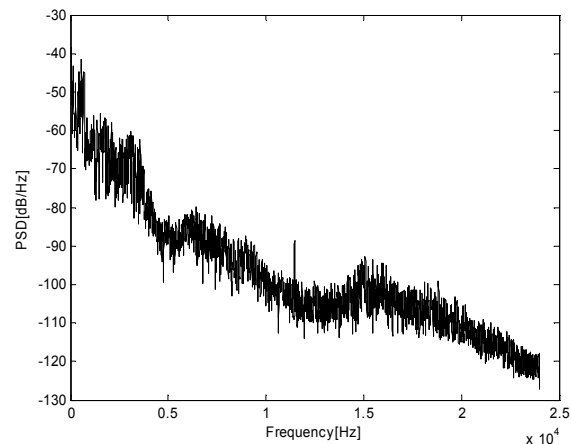
petom poglavlju (V) dat je zaključak. Rad je deo projekta na predmetu Obrada signala II na smeru za audio i video tehnologije Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Osnovni cilj rada je MATLAB[®] implementacija nekih rešenja za obradu audio signala datih u [1].

II. OSNOVNE OPERACIJE FILTRIRANJA SIGNALA

U radu je korišćen govorni signal koji je generisan u programskom paketu MATLAB[®] (Sl.1.). Taj signal sadrži 48000 odbiraka, a učestanost odabiranja je $F_s=48000$ Hz.



Sl. 1. Vremenski oblik govornog signala koji je korišćen u daljoj obradi.



Sl. 2. Spektralna gustina snage korišćenog govornog signala.

Dušica Lukić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija; (telefon: +381-63-8481985; e-mail: dusica.lukic@ikomline.net).

Mirjana Adnađević, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija; (telefon: +381-63-8784604; e-mail: mirjanica86@gmail.com).

Aleksandar Dikanović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija; (telefon: +381-64-3229775; e-mail: dikanovic@beotel.net).

Izabrali smo ovakav signal, jer smo ustanovili da čak i „netrenirani slušaoci“ mogu uočiti rezultate obrade signala

slušajući izlazni signal, što s muzičkim signalom nije uvek slučaj.

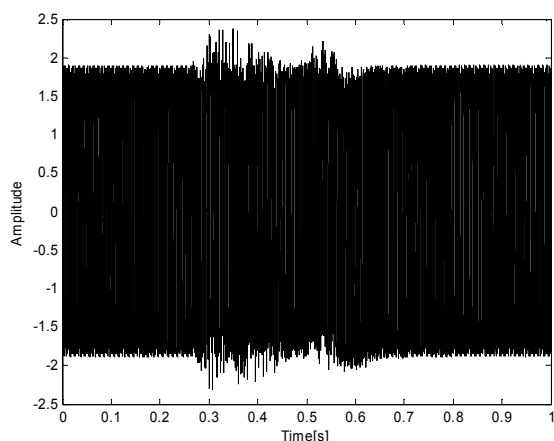
A. Notch filter

U realnim uslovima prenosa šumovi i interferencija su neizbežni. Zato je, sa namerom, dodata tonska smetnja sledećeg oblika:

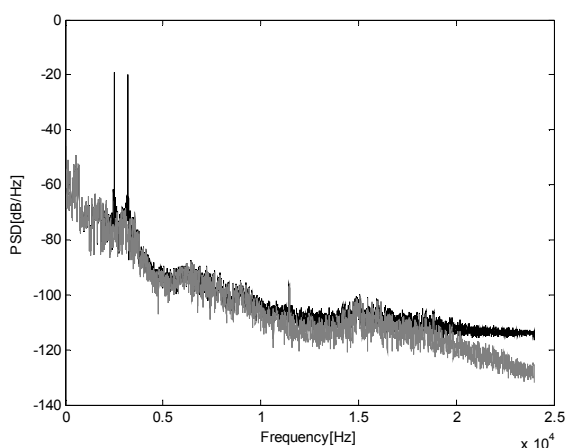
$$ts = \sin(2\pi 2500t) + 0.9 \sin(2\pi 3200t) \quad (1)$$

Na Sl.3. i Sl.4. prikazani su vremenski oblik i spektralna gustina snage polaznog signala sa dodatom smetnjom definisanom u (1).

Nakon ovoga se konstruišu odgovarajući filteri za eliminaciju prethodno veštački generisane tonske smetnje.



Sl. 3. Vremenski oblik signala, koji nastaje dodavanjem veštački generisane tonske smetnje originalnom signalu.

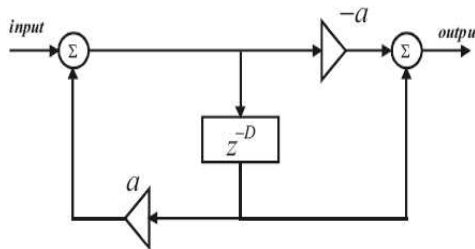


Sl. 4. Spektralna gustina snage novonastalog signala pre (crna) i posle operacije filtriranja (siva boja na grafiku).

Filtar koji ima veoma uzak nepropusni opseg tako da potiskuje samo određenu komponentu tj. frekvenciju, a propušta sve ostalo, naziva se *notch* filter [4]. Da bi obezbedio veliko slabljenje na datoj frekvenciji, on sadrži nulu na jediničnom krugu na frekvenciji koju potiskuje. U slučaju koji se u radu analizira, potrebno je redno vezati dva *notch* filtra, tako da prvi potisne šum na 2500 Hz a drugi na 3200 Hz. *Notch* filtre smo projektovali koristeći funkciju *irnotch*, tako da filteri ne propuštaju signale na 2500 Hz i 3200 Hz respektivno. Oba filtera su drugog reda.

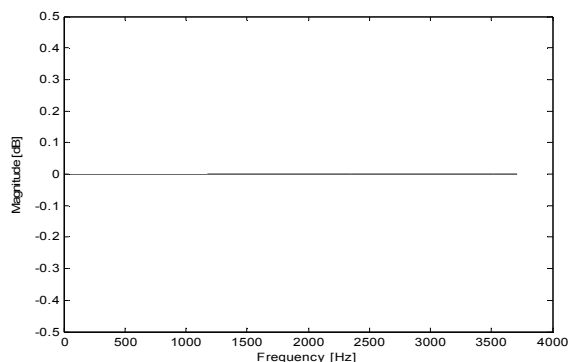
B. Allpass filteri

Na Sl.5. prikazana je blok šema *allpass* filtra korišćena u ovom radu.



Sl. 5. Blok šema *allpass* filtra.

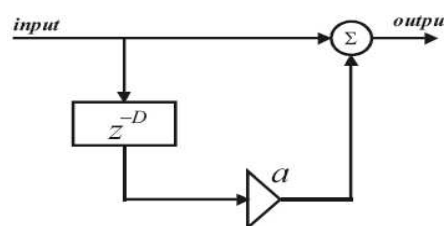
Kao što se vidi na Sl.6. *Allpass* filteri ne menjaju amplitudski spektar signala sa ulaza, jer imaju konstantnu amplitudsku karakteristiku, ali zato imaju značajan uticaj na fazu ulaznog signala [4]. Zbog toga se koriste u složenijim sistemima za digitalnu obradu audio signala za korekciju fazne karakteristike.



Sl. 6. Amplitudska karakteristika *allpass* filtra.

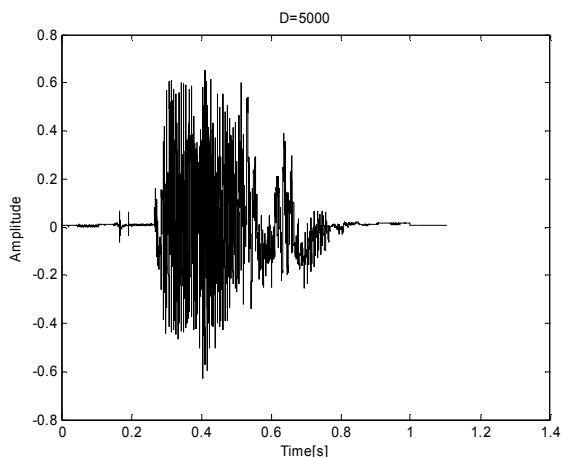
III. EHO

A. Single echo filter

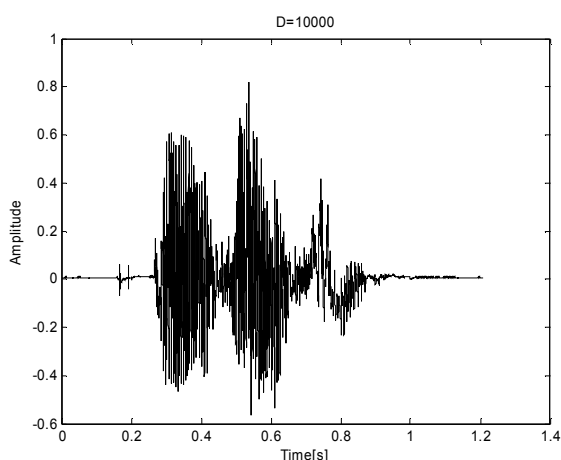


Sl. 7. Blok šema *single echo* filtra.

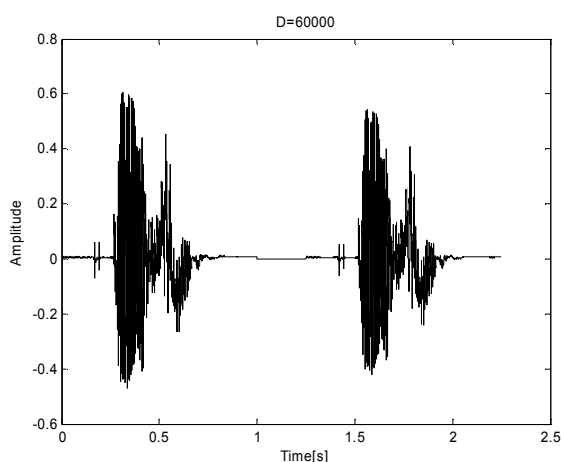
Neposredno pošto čovek nešto izgovori, u realnom okruženju očekuje odjeke. Korišćenjem *single echo* filtera (Sl.7.) realizuje se potrebna refleksija, koja je zakašnjena i slabijeg intenziteta u odnosu na direktnu komponentu [1]. Promenom kašnjenja i amplitude reflektovane komponente dobijaju se različiti efekti.



Sl. 8. Vremenski oblik signala sa eho signalom kašnjenja $D=5000$ odbiraka.



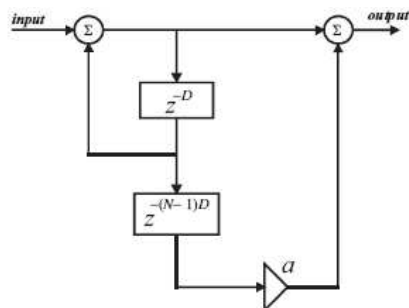
Sl. 9. Vremenski oblik signala sa eho signalom kašnjenja $D=10000$ odbiraka.



Sl. 10. Vremenski oblik signala sa eho signalom kašnjenja $D=60000$ odbiraka.

Na Sl.8, Sl.9. i Sl.10. se uočava da povećanjem kašnjenja D može da se desi da je D veće od trajanja originalnog signala. Tada se prilikom slušanja čuje pauza između završetka trajanja originalnog signala i njegove replike.

B. Multiple echo filter

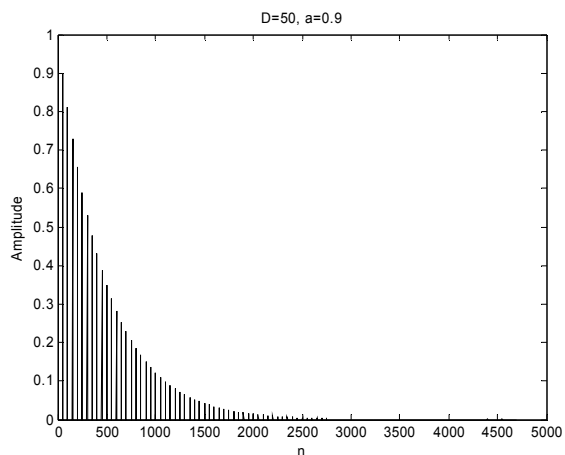


Sl. 11. Blok šema *multiple echo* filtra.

S obzirom da u prirodnom okruženju pored direktne postoji više reflektovanih komponenti, upotreba *single echo* filtera je neadekvatna. Umesto toga se koriste *multiple echo* filteri (Sl.11.), koji proizvode niz reflektovanih komponenti čiji su odbirci na rastojanju D sa eksponencijalno opadajućim amplitudama.

$$y(n) = x(n) + ax(n - D) + a^2x(n - 2D) + \dots \quad (2)$$

$$\dots + a^{N-1}x(n - (N - 1)D)$$



Sl. 12. Impulsni odziv *multiple echo* filtra.

Kada broj odbiraka teži beskonačnosti, dobija se IIR filter, koji se naziva *comb* (češalj) filter, jer njegova amplitudska karakteristika podseća na zube češlja [1], [2].

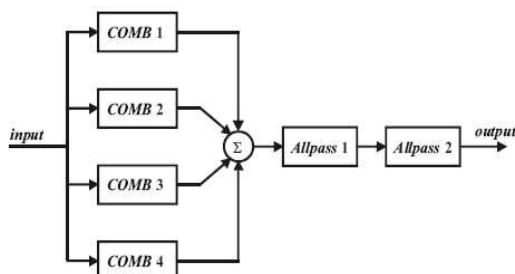
Lako se uočava da je funkcija prenosa inverzna funkciji prenosa *single echo* filtra, pa se zbog toga *single echo* filteri nazivaju *inverse comb* filteri. *Comb* filteri su veoma pogodni za implementaciju, jer zahtevaju samo jednu operaciju množenja i sabiranja po odbirku, a pritom opisuju veoma važan audio efekat – eho. Ipak, njihova mana je u tome što nemaju konstantnu amplitudsku karakteristiku na svim učestanostima [4].

IV. REVERBERACIJA

A. Veštačka reverberacija

Veštačkom reverberacijom postiže se veća prirodnost audio signala, prvenstveno muzike. Ovo stvara iluziju kod slušaoca da se zvuk prostire iz imaginarnih okruženja. Ovaj efekat se ostvaruje filtrom čiji impulsni odziv modeluje impulsni odziv sobe [1], [2].

B. Natural sounding reverberation filter



Sl. 13. Blok šema *natural sounding reverberation* filtra.

Na Sl.13. prikazan je nešto složeniji sistem koji se sastoji iz pogodne veze elementarnih *comb* i *allpass* filtara. Na taj način dobija se kvalitetnije rešenje jer se *allpass* filtrima kompenzuju nesavršenosti *comb* filtara.

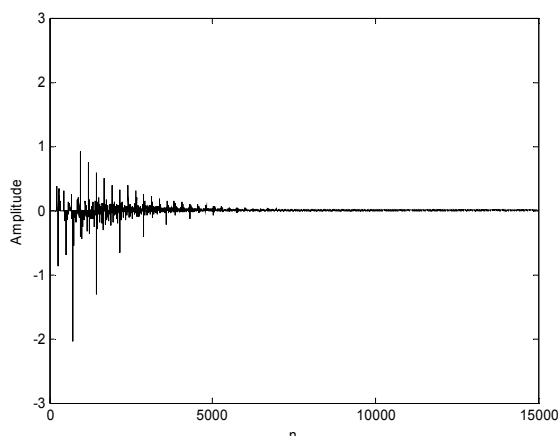
Paralelna veza *comb* filtara obezbeđuje da signal sa ulaza bude što manje promenjen u smislu amplitude. Neke frekvencije koje oslabi jedan filter, drugi pojačava i na taj način je smanjen efekat "bojenja" spektra.

Allpass filtri se vezuju redno. Oni ne unose nikakvu promenu u amplitudskom spektru, već se njima podešava faza [1].

U analiziranom primeru se vezuju paralelno 4 *comb* filtra koji unose različito kašnjenje i slabljenje u originalni signal. Onaj *comb* filter koji unosi najmanje kašnjenje u signal će imati najveće pojačanje (i obrnuto), jer su eho signali koji su više zakašnjeni slabiji.

Zbog različitih kašnjenja koja unose *comb* filtri, eho signali će sada biti različito razdvojeni, što je ipak prirodnije nego da su na međusobno istim rastojanjima.

Dva redno vezana *allpass* filtra, menjajući faznu karakteristiku, čine da su eho signali gušće raspoređeni. Sada reverberacija zvuči prirodnije [1]. Navedeni postupak se može uočiti na Sl.13. i Sl.14.



Sl. 14. Impulsni odziv filtra.

U datom primeru korišćena su 4 *comb* filtra čija kašnjenja i slabljenja iznose: $D_1=221$, $D_2=277$, $D_3=311$, $D_4=327$ odnosno $a_1=0.8$, $a_2=0.7$, $a_3=0.5$ i $a_4=0.3$ respektivno. Odgovarajući parametri *allpass* filtara iznose: $D_a=718$ i $a_a=0.6$, za prvi filter, odnosno $D_b=243$ i $a_b=0.8$ za drugi filter.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu smo pokazali da se u MATLAB® okruženju mogu uspešno realizovati osnovni algoritmi obrade audio signala. Sam MATLAB® omogućava i testiranje algoritama na nivou koji je bio dovoljan za potrebe ovog rada. Dalji koraci bi bili da se algoritmi testiraju po metodologiji koja se koristi u testiranjima audio sistema kao i da se ispituju mogućnosti opisanih postupaka po pitanju rada u realnom vremenu.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo projekta iz predmeta Obrada signala II, te se ovom prilikom zahvaljujemo asistentkinji Jeleni Čertić na podršci i pomoći koju nam je pružila pri izradi ovog rada.

LITERATURA

- [1] G Jovanovic Dolecek, A. Fernandez-Vazquez, " Digital Filters for Digital Audio Effects ", in *Advances in Audio and Speech Signal Processing: Technologies and Application*, edited by Hector Perez-Meana, Idea Group Publishing 2007, Chapter II, pp. 22-55.
- [2] Milić, Lj., Dobrosavljević, Z., *Uvod u digitalnu obradu signala*, II izdanje, Akademska misao, Beograd, 2004.
- [3] A. Bateman, I. Peterson-Stephens, *The DSP Handbook*, Pearson Education Limited, 2002.
- [4] Mitra, S. K., *Digital signal Processing Laboratory using MATLAB*, McGraw-Hill, USA, 1999.

ABSTRACT

This paper is a part of the project which aim is to present a great importance that digital signal processing has in audio field today. Here are introduced several digital filters that enable new possibilities in creating sound effects, which would be difficult and impossible to do by analog means. In our analyses we used speech signal that was generated under normal conditions, so the results that we got are not that reliable as it would be by using signal recorded in studio. Digital filters are realized in MATLAB® software.

REALISATION OF BASIC AUDIO SIGNAL PROCESSING ALGORITHMS USING MATLAB

Dušica Lukić, Mirjana Adnađević i Aleksandar Dikanović