

# Audio efekti—Phaser

Damjan Tomić

**Sadržaj** — Sama tehnologija snimanja jednog muzičkog dela zahteva potpunu izolaciju korisnog signala od bilo kakve vrste pozadinskog šuma i interferencije. Tom prilikom eliminišu se i pojave kao što su eho i reverberacija koje čine da snimljena muzika zvuči prirodno. Zbog toga je neophodno koristiti naknadnu obradu datog signala korišćenjem raznih audio efekata u cilju postizanja većeg nivoa prirodnosti. U ovom radu biće prikazana realizacija i analiza phaser efekta primenom programskog paketa MATLAB®.

**Glavne reči** — Audio efekti, eho, filter, flanger, phaser.

## I. UVOD

SNIMANJE jednog muzičkog dela neophodno je vršiti u dobro izolovanim prostorijama, tzv. „gluvim sobama”, radi smanjenja uticaja buke i raznih šumova koji se, zbog svoje stohastičke prirode, veoma teško uklanjaju iz korisnog signala. Samim tim, eliminišu se pojave kao što su eho i reverberacija koje kod slušaoca izazivaju osećaj prirodnosti i tako snimljena muzika deluje suvo i prazno. Takođe, bilo bi vrlo nepraktično snimati u tunelu ili u crkvi samo da bi se dobio osećaj tih prostora.

Zbog svih tih problema, prvo se, u akustički inertnom studiju, svi instrumenti zasebno snimaju, a tek nakon toga, signalima se dodaju određeni audio efekti. Ti efekti se veštački generišu pomoću raznih analognih kola i sistema za obradu signala, a u novije vreme, razvojem digitalne tehnologije, omogućena je primena velikog broja jednostavnih i veoma efikasnih algoritama koji se lako implementiraju korišćenjem uređaja za digitalno procesiranje signala. Digitalni audio efekti i algoritmi koji ih izvršavaju, zbog velike fleksibilnosti omogućavaju korisnicima visok stepen kontrole nad zvučnim zapisom tako da se značajno povećava mogućnost manipulacije nad snimljenim materijalom, a samim tim i kvalitet produkcije dostiže viši nivo.

Efekti koji se koriste u muzičkoj produkciji realizuju se kao analogni ili digitalni signal procesori koji se dele na nekoliko grupa u zavisnosti od parametara signala na koje utiču. Tako postoje, amplitudski signal procesori koji utiču na dinamički opseg signala i u koje spadaju *compressor*, *limiter* i *expander*, vremenski signal procesori koji utiču na vremenski zavisne veze između signala, *echo*, *reverb*, *flanger*, *chorus*, *delay*, *pitch shifter* i *phaser* i multieffekt signal procesori [1].

Phaser efekat, njegova realizacija i analiza, biće prikazani na osnovu razmatranja filtra nepropusnika

opsega (*notch* filtra) sa promenljivim parametrima.

Ovaj rad je deo projekta rađenog za potrebe predmeta Obrada signala II na smeru za audio i video tehnologije Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

## II. NOTCH FILTRI SA PROMENLJIVOM CENTRALNOM FREKVENCIJOM

Funkcija prenosa *notch* filtra drugog reda data je kao

$$H(z) = \frac{1 + \alpha}{2} \frac{1 - 2\beta z^{-1} + z^{-2}}{1 - \beta(1 + \alpha)z^{-1} + \alpha z^{-2}}. \quad (1)$$

Jednačina (5) može se predstaviti u obliku:

$$H(z) = \frac{1}{2} [1 - A_2(z)], \quad (2)$$

pri čemu je  $A_2(z)$  funkcija prenosa *allpass* filtra drugog reda, data kao:

$$A_2(z) = \frac{\alpha - \beta(1 + \alpha)z^{-1} + z^{-2}}{1 - \beta(1 + \alpha)z^{-1} + \alpha z^{-2}} \quad (3)$$

gde parametar  $\alpha$  kontroliše propusni opseg na osnovu

$$\Delta\omega_{3dB} = \cos^{-1} \left( \frac{2\alpha}{1 + 2\alpha} \right) \quad (4)$$

dok  $\beta$  kontroliše *notch* učestanost,  $\omega_0$ , koja je definisana sa

$$\omega_0 = \cos^{-1}(\beta) \quad (5)$$

*Allpass* filter drugog reda obezbeđuje jedinično pojačanje na celokupnom frekvencijskom opsegu s tim što dolazi do promene faze signala na takav način da komponente na visokim i niskim učestanostima imaju fazni pomeraj  $0^\circ$ , dok se u opsegu od interesa faza menja od  $0^\circ$  do  $180^\circ$  i natrag [2].

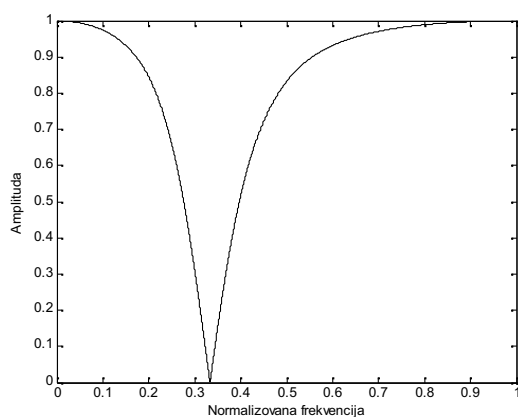
Korišćenjem *allpass* filterarskih sekcija pri formiranju funkcije prenosa *notch* filtra omogućava se nezavisna promena parametara filtra, kao što su propusni opseg i centralna učestanost koji su dati u (8) i (9) [2].

Pošto se frekvencije i propusni opseg filtra kontinualno menjaju, moguće je krivu propusnog opsega širiti ili sužavati čime se direktno i sa velikom kontrolom i preciznošću utiče na amplitudu određenog frekvencijskog opsega u signalu od interesa. Filtri ovog tipa najčešće se koriste pri realizaciji takozvanih *parametric* ekvilajzera [1].

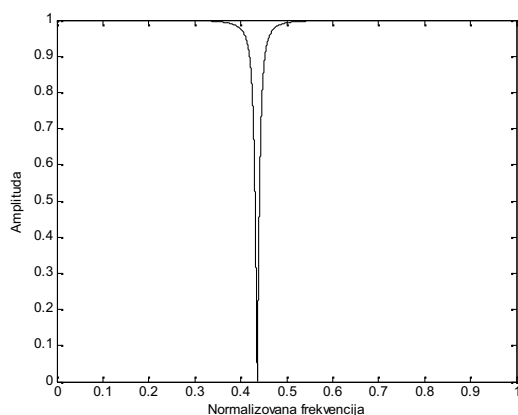
Na Sl. 1. data je funkcija prenosa *notch* filtra koji ima funkciju prenosa datu u (3) za vrednosti parametara  $\alpha = 0.5$  i  $\beta = 0.5$ .

Na Sl. 2. data je funkcija prenosa *notch* filtra koji ima funkciju prenosa iz (3) za vrednosti parametara  $\alpha = 0.95$  i  $\beta = 0.2$ .

Damjan Tomić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-1106088, e-mail: [tomicdamjan@hotmail.com](mailto:tomicdamjan@hotmail.com))



Sl. 1. Frekvencijski odziv *notch* filtra za vrednosti parametara  $\alpha = 0.5$  i  $\beta = 0.5$ .



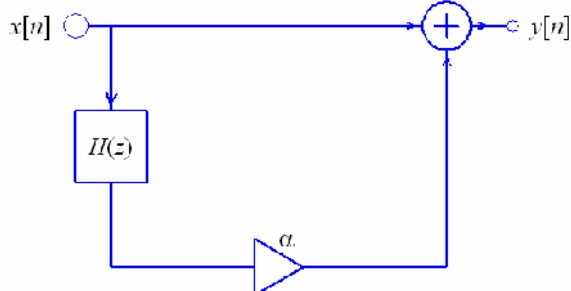
Sl. 2. Frekvencijski odziv *notch* filtra za vrednosti parametara  $\alpha = 0.95$  i  $\beta = 0.2$ .

### III. PHASER EFEKAT

#### A. Realizacija phaser efekta

*Phaser* efekat se proizvodi tako što se signal propusti kroz uskopojasni filtar nepropusnik opsega (*notch* filtar) kome se centralna frekvencija menja po nekom zakonu, a zatim dodaje originalnom signalu, Sl. 3. Centralna (*notch*) učestanost i propusni opseg se sporo menjaju [3].

Ovaj efekat najlakše se realizuje primenom kaskadno vezanih filtara nepropusnika učestanosti kod kojih postoji mogućnost menjanja centralne frekvencije.



Sl.3. Realizacija *phaser* efekta pomoću promenljivog *notch* filtra funkcije prenosa  $H(z)$ .

Na osnovu jednačine (1) lako se dolazi do rekurzivne

diferencne jednačine, oblika

$$y(n) = \frac{1}{2}(1 + \alpha)x(n) - \beta(1 + \alpha)x(n-1) + (1 + \alpha)x(n-2) + \beta(1 + \alpha)y(n-1) - \alpha y(n-2) \quad (6)$$

koja se može direktno primeniti za nalaženje izlaznog signala, prema Sl. 3.

Promena centralne učestanosti *notch* filtra kontroliše se parametrom  $\beta$  u (5) i može biti proizvoljnog oblika, a najčešće se koristi sinusna, definisana kao:

$$\beta(t) = a + b \sin(\omega_0 t). \quad (7)$$

gde parametar  $a$  definiše deo spektra u kome želimo da se dešava promena, parametar  $b$  definiše opseg promene, a  $\omega_0$  brzinu promene *notch* frekvencije, pri čemu  $\omega_0$  treba da bude veoma malo. Parametri  $a$  i  $b$  moraju biti tako izabrani da važi  $|\beta(t)| \leq 1$ . Menjajući ove tri vrednosti, dobija se mnoštvo kombinacija, od kojih će biti prikazano nekoliko najilustrativnijih.

Da bi se dobilo što bolje filtriranje moguće je kaskadno vezati određen broj struktura sa Sl. 3.

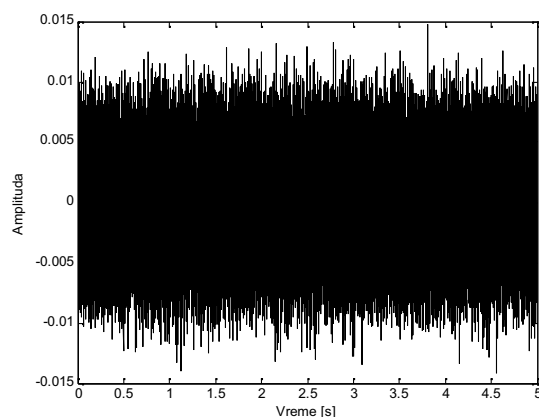
U ovom radu kaskadno filtriranje je realizovano sa  $K$  iteracija *for* petlje u programskom paketu MATLAB<sup>®</sup>.

#### B. Analiza phaser efekta

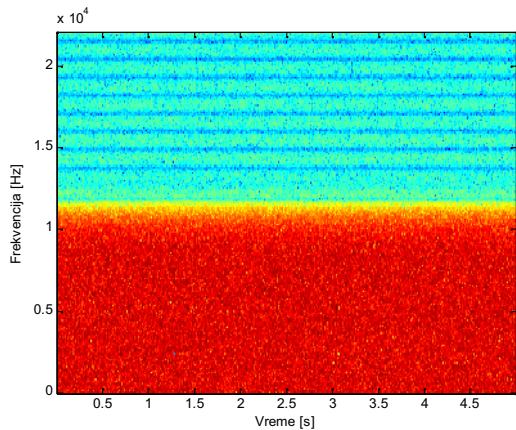
Efekat koji proizvodi *phaser* posledica je vremenski promenljive centralne učestanosti *notch* filtra kojim se realizuje i kao rezultat dobija se nešto kao pulsirajući, talasasti zvuk instrumenta sviranog pod vodom [1]. Pored te prepoznatljive zvučne senzacije promena je jasno uočljiva i u spektrogramu signala, Sl. 7. i Sl. 9.

Za ulazni signal,  $x(n)$ , uzet je šum generisan u programskom paketu MATLAB<sup>®</sup> kao sekvenca slučajnih brojeva sa Gausovom raspodelom vrednosti amplituda (Beli šum) u trajanju od 5s. Frekvencija odabiranja je  $f_s = 44100$  Hz. Pošto šum ima bogat spektar i kako se promena koju izaziva *phaser* dešava u uskom opsegu učestanosti, neophodno je eliminisati deo spektra koji nam nije od interesa da bi i promena u vremenskom domenu bila vidljiva, tj. da bi došlo do uočljive promene energije signala.

Na Sl. 4. i Sl. 5. prikazani su vremenski oblik i spektrogram ulaznog signala.



Sl. 4. Vremenski oblik ulaznog signala.



Sl. 5. Spektrogram ulaznog signala.

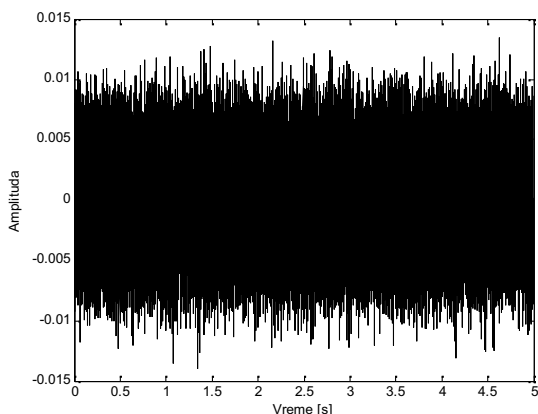
Primer 1 Neka su date vrednosti parametara,  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=0.5000e-004$ ,  $\alpha=0.95$ ,  $K=2$ .

Sa Sl. 6. zaključuje se da, za zadate vrednosti parametara, ne postoji nikakva razlika u amplitudi ulaznog i izlaznog signala. To je posledica veoma uskog nepropusnog opsega *notch* filtra, Sl. 2., i malog broja redno vezanih filtarskih struktura realizovanih prema (6). Naime, kako je spektar ulaznog signala, tj. šuma, bogat, datim filtriranjem ne eliminiše se dovoljan broj spektralnih komponenti da bi u značajnoj meri bilo uticaja na amplitudu signala, što se vidi na Sl. 7.

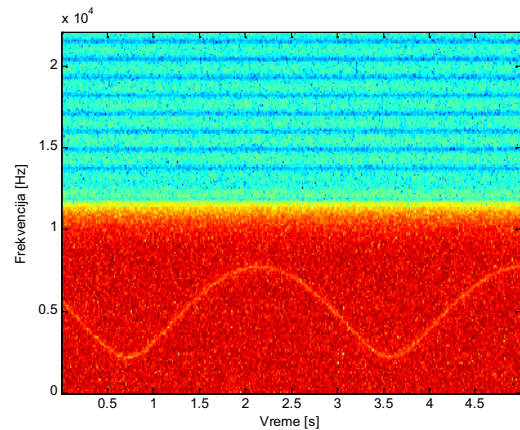
Primer 2 Neka su date vrednosti parametara,  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=1.0000e-004$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $K=7$ .

Sa Sl. 8. i Sl. 9., za zadate vrednosti značajnih parametara, primećuje se znatno bolje filtriranje, kao posledica šireg nepropusnog opsega filtra, Sl. 1. i većeg broja kaskadnih filtarskih sekcija, što rezultuje intenzivnijim *phaser* efektom.

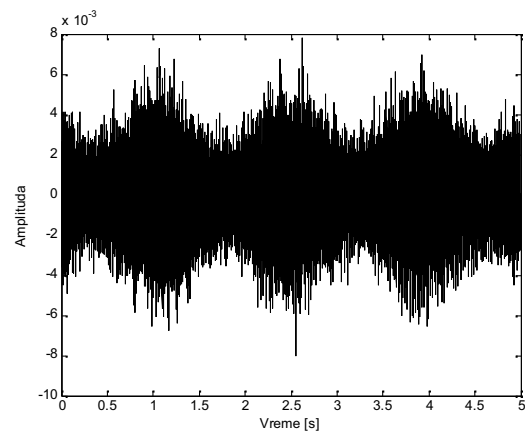
Posmatrani rezultati potvrđeni su od strane većeg broja slušalaca prilikom demonstracije projekta za potrebe predmeta Obrada signala II na smeru za audio i video tehnologije Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.



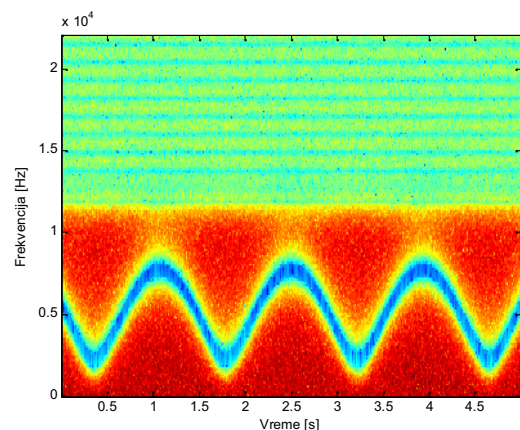
Sl. 6. Vremenski oblik izlaznog signala za vrednosti parametara  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=0.5000e-004$ ,  $\alpha=0.95$ ,  $K=2$ .



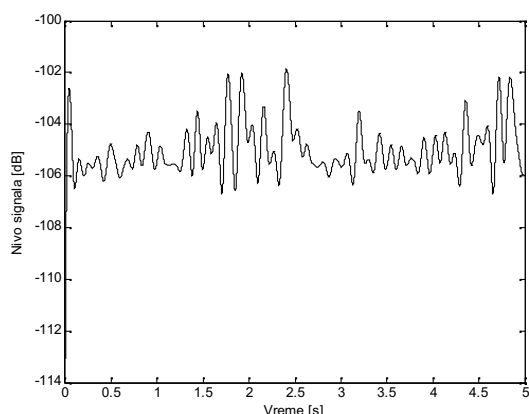
Sl. 7. Spektrogram izlaznog signala za vrednosti parametara  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=0.5000e-004$ ,  $\alpha=0.95$ ,  $K=2$ .



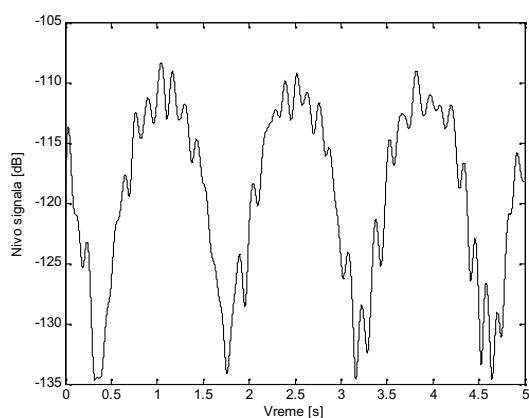
Sl. 8. Vremenski oblik izlaznog signala za vrednosti parametara  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=1.0000e-004$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $K=7$ .



Sl. 9. Spektrogram izlaznog signala za vrednosti parametara  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=1.0000e-004$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $K=7$ .



Sl. 10. Promena nivoa izlaznog signala za vrednosti parametara  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=0.5000e-004$ ,  $\alpha=0.95$ ,  $K=2$ .



Sl. 11. Promena nivoa izlaznog signala za vrednosti parametara  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=1.0000e-004$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $K=7$ .

Jedan od načina analize zvučnog signala predstavlja i posmatranje promene njegove energije u vremenu. Pokazatelj te promene je efektivna vrednost, tj. anvelopa signala. Analiza tog tipa koristi se pri projektovanju zvučne zaštite kao i za praćenje i kvantifikovanje uticaja audio efekta na originalni signal radi bolje kontrole nad izlaznim signalom.

Pošto je najčešći prijemnik zvučnog signala čovekovo čulo sluha, prikazivanje stanja u zvučnom polju potrebno je prilagoditi osobinama ovog čula. Jedna od najznačajnijih karakteristika čula sluha je logaritamska priroda njegove osetljivosti što znači da uho reaguje na promenu intenziteta zvuka za isti odnos. Ta osobina iskazana je Veber-Fehnerovim zakonom i svojstvena je svim ljudskim čulima [4]. Zbog toga je na Sl. 10. i Sl. 11. anvelopa zvučnih signala sa Sl. 6. i Sl. 8., respektivno, prikazana logaritamski, u decibelima.

Pokazuje se da za vrednosti parametara  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=1.0000e-004$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $K=7$ , *phaser* efekat stvara

razliku između maksimalnog i minimalnog nivoa signala od 26 dB, Sl. 12., što naše uho jasno može da registruje.

Uticaj *phaser* efekta na anvelopu ulaznog signala sa Sl. 5. praktično se ne vidi za vrednosti parametara  $a=0.7$ ,  $b=0.25$ ,  $\omega_0=0.5000e-004$ ,  $\alpha=0.95$ ,  $K=2$  i ne može se numerički prikazati jer je promena nivoa samog signala veća od promene koju izaziva *phaser*.

#### IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je direktna realizacija *phaser* efekta na osnovu diferencne jednačine iz (6). Navedene su osnovne osobine i diskutovan je uticaj značajnih parametara *phaser* efekta na promenu vremenskih i spektralnih karakteristika ulaznog signala. Pokazano je i da se MATLAB® može koristiti kao početni alat pri projektovanju i analizi raznih digitalnih efekata i sistema za obradu signala. Međutim, zbog male efikasnosti algoritama ovog tipa realizovanih pomoću programskog paketa MATLAB®, kao i nemogućnosti rada u realnom vremenu, potrebno je razvijanje i adaptacija algoritama pomoću alata prilagođenih radu u *real-time* uslovima.

#### ZAHVALNICA

Iskreno se zahvaljujem prof. dr Miomiru Mijiću i asistentkinji mr Jeleni Čertić na stručnim sugestijama i savetima koji su značajno doprineli kvalitetu ovog rada.

#### LITERATURA

- [1] S. R. Allen, *Audio in Media*, Wadsworth, 2005.
- [2] A. Bateman, I. Peterson-Stephens, *The DSP Handbook*, Pearson Education Limited, 2002.
- [3] S. K. Mitra, *Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach*, Second Edition, McGraw-Hill, USA, 2001.
- [4] M. Mijić, "AKUSIKA TEMA 3 – Zvučni pritisak kao signal", unpublished.
- [5] Julius O. Smith III, *Physical Audio Signal Processing*, W3K Publishing, 2010, available: <https://ccrma.stanford.edu/~jos/pasp/>.

#### ABSTRACT

Recording technology requires complete isolation of signal from any kind of background noise and interference. In this process, effects like echo and reverberation, which make sound feels natural, are also removed from sound and therefore it is necessary to use various signal processing techniques in production such as artificially made audio effects. This paper discusses a realization and analysis of *phaser* effect using MATLAB®.

#### AUDIO EFFECTS–PHASER

Damjan Tomić