

Упоредна анализа различитих боја шумова

Наташа Радуловић, Селена Вукотић

Садржај — Циљ овог рада је таксативно издвајање и анализирање најпознатијих шумова категоризованим по бојама, уз осврт на основни, бели шум, као базу помоћу које се сви остали реализују. Фокус је на обради белог, розе, браон, плавог, пурпурног и сивог шума. Поред тога, дате су основне карактеристике звучног спектра. Рад може бити користан у областима попут акустике, аудио инжењерства, дигиталне обраде сигнала јер обухвата и спектралну анализу шумова и показује колико је она битна за разумевање њихових ефеката и апликација.

Кључне речи — бели шум, боја, фреквенција, спектар, спектрална густина снаге, шум, талас.

I. Увод

Шум се уопштено односи на сваки нежељени звук који омета користан сигнал. Може се испољити као насумична осцилација електричних сигнала, поремећај аудио сигнала или као позадинска сметња у комуникационим системима. Анализа и разумевање шумова су битни због побољшања укупног квалитета сигнала о којој год области да се ради. Међутим, иако се најчешће доживљава као сметња, шум може имати и неке позитивне аспекте. Може се користити за прикривање других нежељених звукова, у музичкој продукцији се понекад намерно уводи како би се добила одређена боја тона, а све чешће су и студије које показују да шумови имају терапеутска дејства попут подстицања опуштања, побољшавања концентрације, смањења стреса и савладавања несанице.

У електроници, акустици, аудио инжењерству, и многим другим областима, шум се може категоризовати по бојама. Боја одређеног шума

се односи на облик његове спектралне густине снаге (PSD – *Power Spectral Density*). Пошто PSD одређује ниво снаге на свакој фреквенцији, може се рећи да се типови шума разликују по нивоу снаге у различитим деловима звучног спектра. Тако на пример, бели шум има приближно исту снагу на свим фреквенцијама, а розе шуму је спектрална густина снаге инверзна фреквенцији..

Шумови обрађени у раду су бели, розе, браон, плави, пурпурни и сиви шум. У поглављу II објашњене су уопштене карактеристике звука, у поглављу III дата је упоредна анализа светлосног и звучног спектра, док поглавље IV садржи анализу сваког од наведених шума. Поглавље V садржи закључак, након којег следи Додатак у којем се налазе кодови помоћу којих су генерисани графици у раду.

II. КАРАКТЕРИСТИКА ЗВУКА

Значење 'боје' сигнала шума је слично значењу боје звука у музици. Боја звука је уз трајање, јачину и висину основно обележје звука. Помоћу боје звука, разликујемо различите инструменте (или различите гласове) који свирају (или певају) ноту исте висине и исте јачине.

Трајање се односи на треперење које извор звука ствара. Утицајем на извор, производи се звук који траје докле год постоји тај утицај, али такође, звук може да траје још неко време након тога, посредством инерције. Онда је у питању одзвук (продужено трајање звука) које се полако утишава како се извор звука враћа у стање мировања.

Јачина (интензитет) звука зависи од амплитуде треперења, односно померања честица звучног извора у односу на њихову тачку мировања. По формули, јачина звука је једнака снази звучног извора, P , по јединици површине, S :

$$I = \frac{P}{S} \left[\frac{W}{m^2} \right]. \quad (1)$$

Такође, објективна јачина звука је сразмерна квадрату амплитуде и квадрату фреквенције звучног таласа:

$$I = 2\pi^2 f^2 A^2 \rho c \left[\frac{w}{m^2} \right] \quad (2)$$

где је f фреквенција звучног таласа, A амплитуда, ρ густина медијума кроз који звук пролази и c брзина звука. Јединица за мерење је ват по метру квадратном и овако дефинисана јачина звука се назива објективна јачина звука. Од ње се разликује субјективна јачина звука коју дефинише људско чуло слуха.

Људско уво различито чује тонове који објективно имају исту јачину,

али различиту фреквенцију, тако да постоје две скале – једна која представља јачину забележену инструментима и друга коју чује наше уво. Звуке више фреквенције углавном чујемо као јаче, иако они то не морају бити. Иако субјективна јачина расте са објективном, њихова зависност није линеарна.

Минимална вредност коју јачина звука мора да пређе како би људско уво регистровало звучни талас назива се праг чујности. Праг чујности зависи од фреквенције и најнижи је за средње фреквенције (1000–5000 Hz), што говори да је човеков слух за те фреквенције најосетљивији.

При фреквенцији од 1 kHz праг чујности износи $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$.

Насупрот прагу чујности је граница бола – јачина звука при којој човек још увек јасно чује звук, али уз непријатан субјективан осећај који се претвара у бол ако се јачина звука и мало повећа. То је највећа јачина звука коју човек може да чује и скоро да и не зависи од фреквенције (износи око $10 \frac{W}{m^2}$). Јачина звука између прага чујности и границе бола се назива област чујности и простира се у интервалу фреквенција од 20 Hz до 20 kHz.

Субјективна јачина звука се мери у децибелима (dB), а веза субјективне и објективне јачине звука је дата следећом формулом:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}. \quad (3)$$

Висина звука је одређена фреквенцијом – што је већа фреквенција, тон је виши. Прост тон има само једну фреквенцију, док сложени тонови поред основне фреквенције садрже и више хармонике. Висину сложеног звука одређује ипак висина основног тона, тако да када се висина основног тона промени, у суштини се мења његова фреквенција, а наше уво то региструје као промену висине звука. Иако се за област чујности узима интервал између 20 Hz и 20 kHz, висина звука се довољно прецизно може разликовати у границама од 32 Hz до 5 kHz, тако да је углавном то опсег који се користи у музичке сврхе.

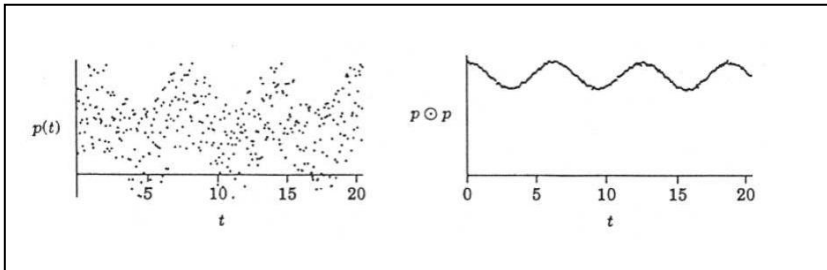
III. СПЕКТРАЛНА АНАЛИЗА ШУМОВА

Фреквенцијски спектар сигнала $x(n)$, означен са $X(\omega)$, има амплитудску карактеристику $|X(\omega)|$ и фазну карактеристику $\arg(X(\omega))$. Фаза спектра даје информацију о томе када се сигнал десило у времену односно у ком тренутку се десила нека значајна промена у амплитуди (видети [1]). За сигнале шума, спектрална фаза је једноставно насумична и стога не даје никакве информације. Важна разлика између

детерминистичких сигнала (сигнали који се једнозначно могу описати функцијом у времену, нпр. синусоиде) и сигнала шума је у томе што је концепт фазе бесмислен за сигнале шума (видети [2]). Амплитудска карактеристика $|X(\omega)|$ представља расподелу енергије сигнала по фреквенцијама, односно показује које фреквенције су присутне и са коликом јачином. Код сигнала шума, амплитудска карактеристика је кључна јер их она описује и омогућава класификацију по „бојама“.

Спектрална анализа је доста битнија код сигнала шума него код детерминистичких сигнала јер је математички модел за шум стохастички процес који се дефинише као низ случајних променљивих. Две функције које су битне у овој области су аутокорељација и спектрална густина снаге (PSD).

Корељација између две функције је мера њихове сличности – ако су две функције веома сличне, оне имају високу корелецију. Аутокорељација је корелеција функције са самом собом (видети [3]). Исте математичке технике које се односе на корелецију, односе се и на аутокорељацију. Често се користи за анализу сигнала у временском домену, корисна је за проналажење понављајућих образаца у сигналу, нпр. одређивање периодичног сигнала који не долази до изражаја због јаког шума. Пример тога се види на Сл. 1 – са леве стране је приказан сигнал у временском домену, а са десне стране аутокорељација истог сигнала



Сл. 1. Лево – график сигнала са шумом, десно - аутокорељација истог сигнала [3]

Аутокорељациона функција и PSD чине Фуријеов трансформациони пар (видети [1]).

IV. БОЈЕ ШУМОВА

Боје шумова се дефинишу у односу на бели шум – када би се секвенца белог шума филтрирала, као резултат би се добили корелисани узастопни узорци. Неки од тих добијених сигнала имају специфичне карактеристике и добили су називе по бојама (видети [4]).

A. Бели шум

Бели шум је врста случајног сигнала ког карактерише исти ниво амплитуде на свим фреквенцијама (свака фреквенцијска компонента има исти ниво снаге), што резултује константном спектралном густином снаге (PSD) (видети [4]). Ово га чини идеалним алатом за моделирање шумова и анализирање система под утицајем случајних сметњи. По конвенцији, та константа се углавном означава са $\frac{N_0}{2}$. За сигнал $x(t)$ који представља бели шум, PSD би био:

$$S_x(f) = \frac{N_0}{2} \quad (4)$$

за све фреквенције f , где је N_0 снага шума (видети [5]). Идеалан бели шум има бесконачну снагу и представља континуални сигнал:

$$E[x(t)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(f) df = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{N_0}{2} df = \infty \quad (5)$$

Међутим, у реалности, системи су ограничени у опсегу, што значи да не могу генерисати или обрадити сваку фреквенцијску компоненту, тако да се у практичној примени бели шум ограничава на одређени фреквенцијски опсег и укупна снага постаје коначна (видети [5]).

Како аутокорелациона функција и спектар снаге функције чине Фуријеов трансформациони пар, аутокорелациона функција се може добити на следећи начин:

$$R_x(\tau) = F^{-1} \left\{ \frac{N_0}{2} \right\} = \frac{N_0}{2} \delta(\tau) \quad (6)$$

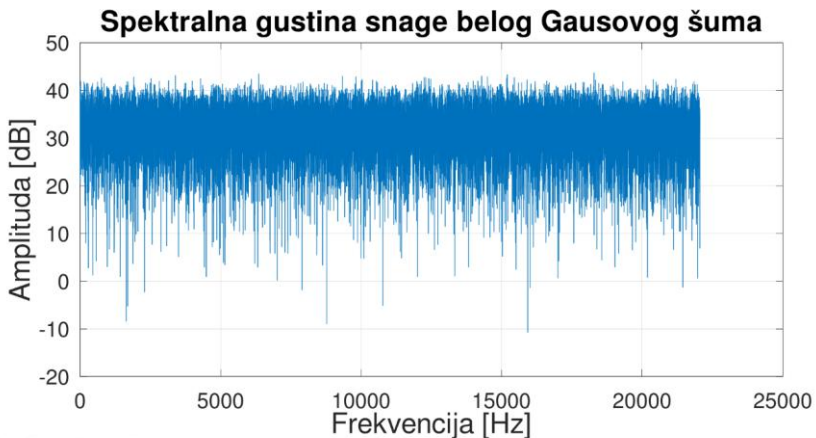
где је $\delta(\tau)$ Дираков импулс.

Овиме се опет показује да бели шум има бесконачну снагу јер важи $E[x(t)^2] = R_x(0)$. Такође, зато што важи $R_x(\tau) = 0$ за све $\tau \neq 0$, важиће и да $x(t_1)$ и $x(t_2)$ нису у корелацији за било које $t_1 \neq t_2$. У пракси ово значи да бели шум нема предвидив образац и да је у потпуности стохастичан (видети [5]).

Бели Гаусов шум је специфичан тип белог шума – вредности овог случајног сигнала су распоређене према Гаусовој расподели са нултом

средњом вредношћу ($\mu_x = 0$) и одређеном варијансом (σ^2). Нулта средња вредност имплицира подједнако вероватне вредности сигнала и у позитивном и у негативном смеру, а варијанса, која мери колико су вредности сигнала распрострањене око средње вредности, у контексту белог Гаусовог шума је константна и представља снагу шума. Главна разлика између белог шума и белог Гаусовог шума лежи у њиховој статистичкој расподели – бели шум не специфицира врсту статистичке расподеле узорака сигнала, док Гаусов шум захтева искључиво Гаусову расподелу (видети [6]).

Најчешћи начин генерисања белог шума је коришћењем Гаусове расподеле. У програму Octave, то се постиже коришћењем функције *randn* која генерише насумичне бројеве из нормалне расподеле са средњом вредношћу 0 и стандардном девијацијом 1. У фреквенцијском домену, коришћена је функција *fft* помоћу које се приказује спектрална густина снаге шума. Очекивало би се да то буде равна линија, међутим, како је већ поменуто, ограничен број узорака и ограничена резолуција фреквентне анализе доводи до флукуација у вредностима PSD-а и самим тим несавршености спектралног приказа. Прецизност се може донекле побољшати повећањем броја узорака, дељењем сигнала у сегменте и коришћењем прозорских функција.



Сл. 2. Пример белог Гаусовог шума у фреквенцијском домену

Бели шум проналази примену у различитим областима због својих јединствених карактеристика. Неке од тих примена су:

- Тестирање система – тестирање фреквентних карактеристика филтара и појачала јер омогућава анализу одзива система на све фреквенције истовремено;
- Комуникациони системи – моделирање шумава у комуникационим каналима што је кључно за анализу капацитета канала; тестирање алгоритама за корекцију грешака у присуству белог шума што омогућава оптимизацију система за поузданију комуникацију;
- Маскирање звука – маскирање нежељених звукова у канцеларијама, болницама и слично [7];
- Неуробиологија – симулација случајних активности неурона и истраживање како мозак на њих реагује;
- Терапијска својства – помаже у терапијама за тинитус (шум у ушима) [8], побољшава концентрацију, меморију и унапређује квалитет сна [9].

Б. Розе шум

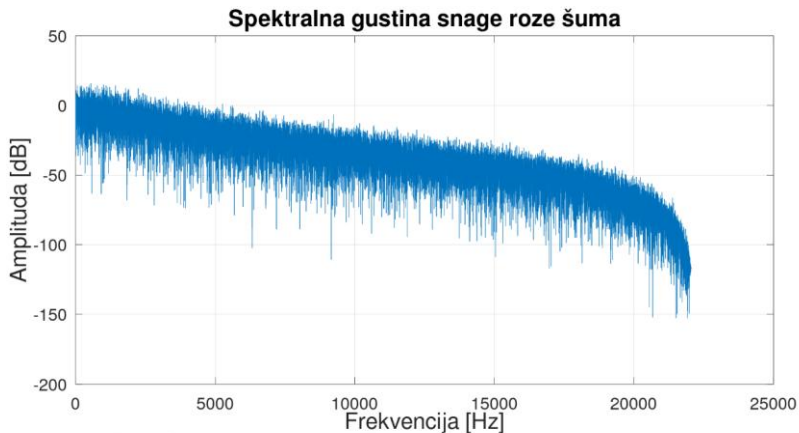
Розе шум, познат и као $1/f$ шум или фликер шум, је тип шума код којег је енергетска расподела фреквенција таква да се енергија смањује са растом фреквенције. Карактерише га снага шума која је инверзно пропорционална фреквенцији, што значи да ниже фреквенције имају већу снагу од виших фреквенција. Математички, спектрална густина снаге розе шума опада пропорционално са $1/f$. Због ове расподеле енергије, розе шум се често користи за моделирање природних система, јер многи физички, биолошки и финансијски системи показују сличне фреквенцијске карактеристике (видети [6]).

Док бели шум има равномерну расподелу снаге по свим фреквенцијама, розе шум наглашава ниже фреквенције, што га чини пријатнијим за људско уво јер је његова енергија уравнотеженија у складу са људском перцепцијом звука и природним процесима (видети [9]).

У програму Octave, бели шум је генерисан коришћењем функције *randn*, а затим филтриран коришћењем нископропусног Батервортовог филтра да би се добио розе шум.

Розе шум, слично белом, има широку примену у различитим областима. Користи се за тестирање аудио система јер његова енергетска расподела више одговара начину на који људи чују. Људски слух је осетљивији на ниске фреквенције, а розе шум уравнотежује

фреквенције тако да се аудио опрема може тестирати реалистичније него са белим шумом. Такође се користи и као звучна маска у окружењима где је потребно блокирати друге звукове, нпр. у канцеларијама или спаваћим собама, ствара умирујућу атмосферу и маскира звукове попут разговора или саобраћаја (видети [7]). Још неке области у којима $1/f$ расподела има доста примена су биологија, медицина, екологија и финансије (видети [6]).



Сл. 3. Пример розе шума у фреквенцијском домену

В. Браон шум

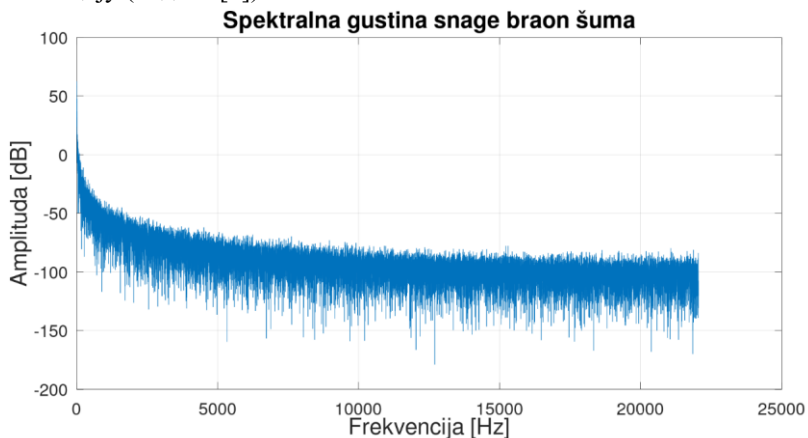
Браон шум (смеђи шум или Браунов шум) карактерише снага у фреквенцијском домену инверзно пропорционална квадрату фреквенције. За разлику од белог шума, који има равномерну снагу по целом спектру, и розе шума, код кога снага опада са $1/f$, браон шум има још стрмију опадајућу карактеристику, где снага опада са $1/f^2$ (видети [6]).

Браон шум је дефинисан тако да је енергија сигнала концентрисана у нижим фреквенцијама. С обзиром на то да снага драстично опада при вишим фреквенцијама, браон шум даје утисак дубоког и тешког звука. У временском домену, овај шум изгледа „глаткије“ и спорије варира у поређењу са белим или розе шумом. Због тога се често користи за симулацију дубоких нискофреквентних вибрација.

Бели шум је генерисан као и до сада, помоћу функције *randn*, а затим је коришћена функција *cumsum*, која рачуна кумулативни збир тог белог

шума. Ова операција доводи до стварања браон шума, чије се фреквенције полако акумулирају, чинећи ниске фреквенције доминантним.

Браон шум, због свог „тешког“ и дубоког звука, има широку примену у областима где је потребно радити са нискофреквентским садржајима или генерисати пријатан амбијентални звук. Користи се у моделирању стохастичких процеса у природним феноменима, као што су топлотни и атмосферски ефекти (видети [10]). Често се користи и за медитацију или релаксацију (видети [8]).



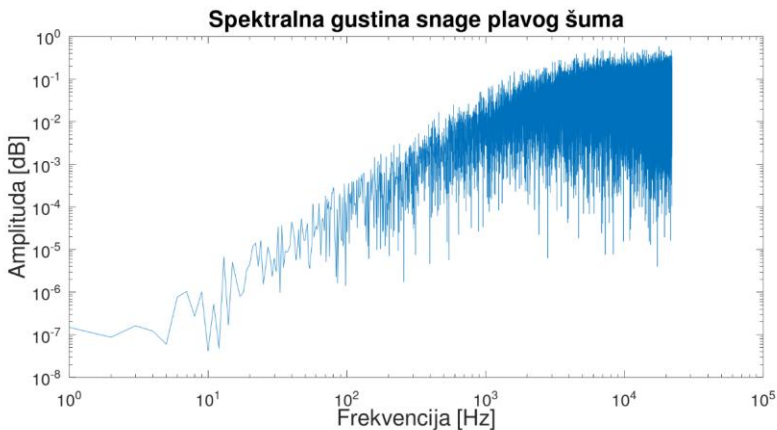
Сл. 4. Пример браон шума у фреквенцијском домену

Г. Плави шум

Плави шум је врста сигнала чија снага расте с повећањем фреквенције. У математичком смислу, плави шум је инверзни розе шум – док снага розе шума опада са порастом фреквенције, снага плавог шума расте (видети [11]). Како приоритет даје вишим фреквенцијама, овај шум има „оштрији“ звук и може звучати прилично непријатно у неким ситуацијама.

У временском домену, плави шум карактеришу брзе, нагле промене у амплитуди, што ствара високофреквентну варијацију. Таква структура чини плави шум корисним у неким областима, нарочито у дигиталној обради слика и генерисању текстура, али га чини мање погодним за примене у акустици. Такође, и даље не постоји велики број научних радова на тему плавог шума (видети [9]).

Плави шум се генерише помоћу филтрирања белог шума – примењује се високопропусни филтар да би се уклониле ниске, а појачале високе фреквенције. После примене функције *randn*, примењује се Батервортв високо-пропусни филтар првог реда.



Сл. 5. Пример плавог шума у фреквенцијском домену

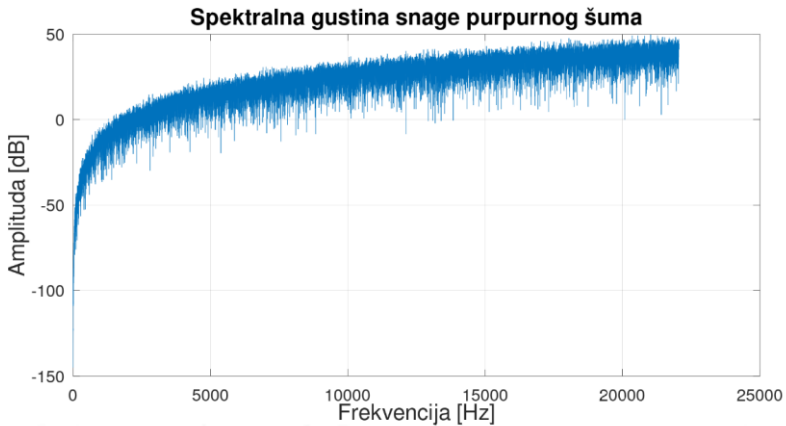
Д. Пурпурни шум

Пурпурни шум има спектралну густину снаге пропорционалну квадрату фреквенције, што значи да се, као код плавог шума, снага сигнала повећава како се повећава фреквенција. Иако су оба сигнала високофреквентни шумови, плавом шуму је густина снаге пропорционална фреквенцији f , а пурпурном квадрату фреквенције f^2 (видети [11]). Као што је плави шум у математичком смислу описан као инверзан розе шум, може се рећи да је пурпурни шум инверзан браон шум.

У временском домену, пурпурни шум је брз и често хаотичан, са наглим променама амплитуде, док су у фреквенцијском домену високе фреквенције изразито доминантне – што доводи до доживљаја пурпурног шума као веома оштрог звука.

У дигиталној обради сигнала, овај шум се може користити у симулацијама и тестирању алгоритама за обраду високофреквентних сигнала. Слично као и за плави шум, још увек нема довољно радова на тему овог шума (видети [9]).

У програму Octave, пурпурни шум се такође може добити модификацијом белог шума – тако што се амплитуде фреквенцијског спектра белог шума помноже квадратима одговарајућих фреквенција.



Сл. 6. Пример пурпурног шума у фреквенцијском домену

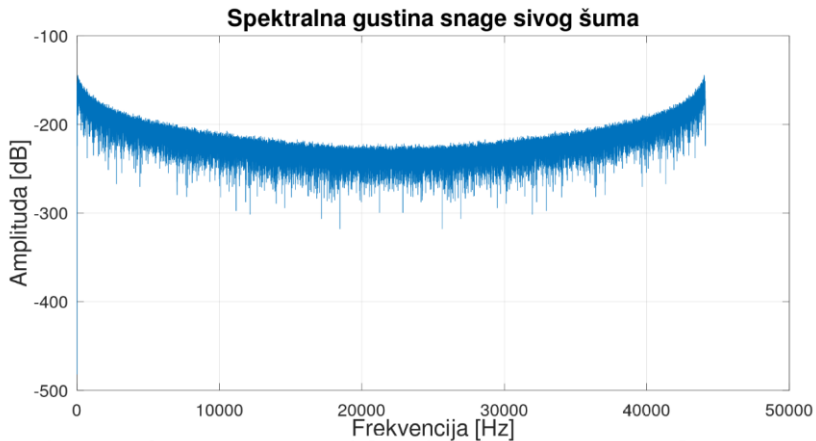
Б. Сиви шум

Сиви шум карактерише једнака јачина (гласноћа) на свим фреквенцијама (видети [12]). Ова карактеристика подсећа на бели шум, који има једнаку енергију на свим фреквенцијама. Међутим, осетљивост људског слуха је различита за различите фреквенције, па се бели шум не доживљава као уравнотежен звук. Код сивог шума, с друге стране, енергија је по фреквенцијама прилагођена људском слуху тако да је једнако чујна у читавом фреквенцијском опсегу, што даје уравнотеженији и пријатнији звук. Због тога се некад назива „испегланом“ верзијом белог шума.

Људски слух је мање осетљив на ниске и високе фреквенције, па сиви шум компензује те неједнакости тако што мења енергију у циљу постизања равномерног субјективног осећаја гласноће. Баш из разлога што је гласноћа субјективна величина, немогуће је дати јединствену фреквенцијску карактеристику овог сигнала – била би различита за сваког човека.

У програму Octave, сиви шум се може генерисати применом „А-

weighting“ филтра који се користи за моделирање људске перцепције на различите фреквенције.



Сл. 7. Пример сивог шума у фреквенцијском домену

V. ЗАКЉУЧАК

У овом раду су представљене спектралне карактеристике боја шума као важан фактор у разумевању могућих примена и ефеката у разним областима попут акустике, дигиталне обраде сигнала, музике и комуникационих система.

Рад истиче потенцијал будућих истраживања усмерених на интеграцију различитих типова шума у савремене технологије, као што су слушни апарати нове генерације, системи за активно поништавање буке у слушалицама и аутомобилима, као и слична иновативна решења која обједињују електронику, рачунарство, вештачку интелигенцију и алгоритме за детекцију, анализу и управљање звуком у реалном времену.

Рад садржи и практични део, што је уједно његов допринос, у оквиру којег су израђени кодови у програмском пакету Octave за генерисање графика, чиме је омогућено визуелно представљање спектралних особина анализираних шума и чиме је потврђена њихова теоријска

анализа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Милић, Љ., Ђергић, Ј., & Добросављевић, З, “Увод у дигиталну обраду сигнала“, Београд: Академска мисао, 2015: 31-38, 359-366
- [2] Smith, J. O. “Spectral Audio Signal Processing”. *W3K Publishing*, 2011: [Spectrum Analysis of Noise](#)
- [3] Gray, R. “Correlation And Auto-Correlation”, North Carolina: Appalachian State University. Available: https://www.appstate.edu/~grayro/comphys/lecture10c_11.pdf
- [4] Ellis, G. “Observers in Control System : A Practical Guide”, *Elsevier*, 2002: 141-144
- [5] Pishro-Nik, H. “Introduction to Probability, Statistics, and Random Processes”, Lexington, KY: Kappa Research LLC, 2014: https://www.probabilitycourse.com/chapter10/10_2_4_white_noise.php
- [6] Rosenhouse, G. "Colours of noise fractals and applications." *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics* 9, 2014, pp. 255-265.
- [7] Lu, Shih-Yi, Yuan-Hao Huang, and Kuei-Yi Lin. "Spectral content (colour) of noise exposure affects work efficiency." *Noise and Health* 22, 2020, pp. 19-27. Available: https://journals.lww.com/nohe/fulltext/2020/22040/spectral_content_colour_of_noise_exposure.3.aspx
- [8] Barozzi, S., Ambrosetti, U., LÃ, S., Behrens, T., Passoni, S. and Del Bo, L. Effects of tinnitus retraining therapy with different colours of sound. *The international tinnitus journal*, 21(2), pp.139-143, 2017. Available: <https://www.tinnitusjournal.com/articles/effects-of-tinnitus-retraining-therapy-with-different-colours-of-sound-8932.html>
- [9] Yoon, H., Jae Baek, H. “External Auditory Stimulation as a Non-Pharmacological Sleep Aid”, *Sensors (Basel)*, 2022.
- [10] Hida, T. “White Noise Analysis and Its Applications”, Nagoya, Nagoya University, 2008.
- [11] Sethi, D., Bansal, M., Verma, N. “Reduction of Noise from Speech Signal using Wavelet Tresholding”, *Research*, 2017.
- [12] Otto Neubauer, R., Kang J. “Temporal Aspects of Airborne Sound Insulation and How It Affects The Subjective Estimation.” *Conference Paper*, 2011.
- [13] Поповић, М. “Сигнали и системи“, Београд: Академска мисао, 2006.
- [14] Schroeder, M. “Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise”, Mineola, NY: Dover Publications, 2009.

VI. ДОДАТАК

У овом поглављу су дати кодови из програма Octave на основу којих су генерисани графици у овом раду.

A. *Бели Гаусов шум*

```
pkg load signal

trajanje = 1; % Trajanje u sekundama
fs = 44100; % Frekvencija odabiranja u hercima
ts = 1/fs; % Perioda odabiranja u sekundama

N = trajanje*fs; % Ukupan broj uzoraka

beli_sum = randn(1,N); % Generisanje belog šuma
beli_sum = beli_sum/max(abs(beli_sum)); % Amplituda
signala između -1 i 1

figure
t = (0:N-1)*ts; % Vreme na x-osi
plot(t, beli_sum); % Prikaz signala u vremenskom domenu
set(gca,'FontSize',36);
title('Beli      Gausov      šum      u      vremenskom
domenu','fontsize',48);
xlabel('Vreme [s]','fontsize',48);
ylabel('Amplituda','fontsize',48);
grid on

fft_beli_sum = fft(beli_sum); % Furijeova
transformacija
a_k = abs(fft_beli_sum).^2/N; % Amplitudska
karakteristika

N = length(a_k);
```

```
a_k_dB = 20*log10(a_k(1:N/2)); % Amplituda u
decibelima, relevantna je samo prva polovina fft-a

f = (0:(N/2-1))*(fs/N); % Frekvencija na x-osi

figure
plot(f, a_k_dB); % Prikaz signala u frekvencijskom
domenu
set(gca,'FontSize',36);
title('Spektralna gustina snage belog Gausovog
šuma','fontsize',48);
xlabel('Frekvencija [Hz'],'fontsize',48);
ylabel('Amplituda [dB'],'fontsize',48);
grid on
```

B. Poze шум

```
pkg load signal

trajanje = 1; % Trajanje u sekundama
fs = 44100; % Frekvencija odabiranja u hercima
ts = 1/fs; % Perioda odabiranja u sekundama

N = trajanje*fs; % Ukupan broj uzoraka

beli_sum = randn(1,N); % Generisanje belog šuma

[b, a] = butter(1, 0.1, 'low'); % Low-pass Butterworth-
ov filter
roze_sum = filter(b, a, beli_sum); % Filtriranje belog
šuma da se dobije roze шум
```

```
% Prikazivanje vremenskog domena
t = (0:N-1)*ts;
plot(t, roze_sum);
grid on
set(gca,'FontSize',36);
title('Roze šum u vremenskom domenu','fontsize',48);
xlabel('Vreme [s]','fontsize',48);
ylabel('Amplituda','fontsize',48);

fft_roze_sum = fft(roze_sum);
N = length(roze_sum);
f = (0:N/2-1)*(fs/N); % Frekvencijska osa
a_k = abs(fft_roze_sum).^2/N; % Spektralna gustina
snage

% Prikazivanje frekvencijskog domena
figure
plot(f, 20*log10(a_k(1:N/2)));
grid on
set(gca,'FontSize',36);
title('Spektralna gustina snage roze
šuma','fontsize',48);
xlabel('Frekvencija [Hz]','fontsize',48);
ylabel('Amplituda [dB]','fontsize',48);
```

B. Браон шум

```
pkg load signal

trajanje = 1; % Trajanje u sekundama
fs = 44100; % Frekvencija odabiranja u hercima
```

```
ts = 1/fs; % Perioda odabiranja u sekundama

N = trajanje*fs; % Ukupan broj uzoraka

beli_sum = randn(1, N); % Generisanje belog šuma

braon_sum = cumsum(beli_sum); % Generisanje braon šuma
kumulacijom belog šuma

braon_sum      =      braon_sum/max(abs(braon_sum));      %
Normalizacija braon šuma

% Prikazivanje vremenskog domena
t = (0:N-1)*ts;
plot(t, braon_sum);
grid on
set(gca,'FontSize',36);
title('Braon šum u vremenskom domenu','fontsize',48);
xlabel('Vreme [s]','fontsize',48);
ylabel('Amplituda','fontsize',48);

fft_braon_sum = fft(braon_sum);
f = (0:N-1)*(fs/N); % Frekvencijska osa
a_k = abs(fft_braon_sum).^2/N; % PSD

% Prikazivanje frekvencijskog domena
figure
plot(f(1:N/2), 20*log10(a_k(1:N/2)));
grid on
set(gca,'FontSize',36);
```

```
title('Spektralna          gustina          snage          braon  
šuma','fontsize',48);  
xlabel('Frekvencija [Hz]','fontsize',48);  
ylabel('Amplituda [dB]','fontsize',48);
```

Г. Плави шум

```
pkg load signal  
  
trajanje = 1; % Trajanje u sekundama  
fs = 44100; % Frekvencija odabiranja u hercima  
ts = 1/fs; % Perioda odabiranja u sekundama  
  
N = trajanje*fs; % Ukupan broj uzoraka  
  
beli_sum = randn(1,N); % Generisanje belog šuma  
  
% Primena visokopropusnog filtera za generisanje plavog  
šuma  
[b, a] = butter(1, 0.1, 'high'); % Butterworth  
visokopropusni filter  
plavi_sum = filter(b, a, beli_sum);  
  
% Normalizacija plavog šuma  
plavi_sum = plavi_sum / max(abs(plavi_sum));  
  
% Prikazivanje vremenskog domena  
t = (0:N-1)*ts;  
plot(t, plavi_sum);  
grid on  
set(gca,'FontSize',36);  
title('Plavi šum u vremenskom domenu','fontsize',48);
```

```
xlabel('Vreme [s]','fontsize',48);
ylabel('Amplituda','fontsize',48);

fft_plavi_sum = fft(plavi_sum);
f = (0:N-1)*(fs/N); % Frekvencijska osa
a_k = abs(fft_plavi_sum).^2/N; % Spektralna gustina
snage

% Prikazivanje frekvencijskog domena
figure
loglog(f(1:N/2), a_k(1:N/2));
set(gca,'FontSize',36);
title('Spektralna gustina snage plavog
šuma','fontsize',48);
xlabel('Frekvencija [Hz]','fontsize',48);
ylabel('Amplituda [dB]','fontsize',48);
```

Д. Пурпурни шум

```
pkg load signal

trajanje = 1; % Trajanje u sekundama
fs = 44100; % Frekvencija odabiranja u hercima
ts = 1/fs; % Perioda odabiranja u sekundama

N = trajanje*fs; % Ukupan broj uzoraka

beli_sum = randn(1,N); % Generisanje belog šuma

fft_beli_sum = fft(beli_sum);
f = (0:N-1)*(fs/N);
```

```
% Skaliranje amplitude proporcionalno f^2
for i = 2:N/2
    fft_beli_sum(i) = fft_beli_sum(i) * f(i).^2;
end

purpurni_sum = real(iff(fft_beli_sum)); % Povratak u
vremenski domen

purpurni_sum = purpurni_sum / max(abs(purpurni_sum)); %
Normalizacija

% Prikazivanje vremenskog domena
t = (0:N-1)*ts;
plot(t, purpurni_sum);
grid on
set(gca, 'FontSize', 36);
title('Purpurni šum u vremenskom
domenu', 'fontsize', 48);
xlabel('Vreme [s]', 'fontsize', 48);
ylabel('Amplituda', 'fontsize', 48);

% Prikazivanje frekvencijskog domena
figure
a_k = abs(fft(purpurni_sum));
f = (0:(N/2-1))*(fs/N);
plot(f, 20*log10(a_k(1:N/2)));
grid on
set(gca, 'FontSize', 36);
title('Spektralna gustina snage purpurnog
šuma', 'fontsize', 48);
xlabel('Frekvencija [Hz]', 'fontsize', 48);
```

```
ylabel('Amplituda [dB]', 'fontsize', 48);
```

B. *Cusu uym*

```
pkg load signal

trajanje = 1; % Trajanje u sekundama
fs = 44100; % Frekvencija odabiranja u hercima
ts = 1/fs; % Perioda odabiranja u sekundama

N = trajanje*fs; % Ukupan broj uzoraka

beli_sum = randn(1,N); % Generisanje belog šuma

fft_beli_sum = fft(beli_sum);
f = (0:N-1)*(fs/N);

% Kreiranje A-weighting filtra koji prilagođava
frekvencije ljudskoj percepciji
A_weighting = 1.2589 * ((12200^2) * f.^2) ./ ((f.^2 +
20.6^2) .* sqrt((f.^2 + 107.7^2) .* (f.^2 + 737.9^2))
.* (f.^2 + 12200^2));

fft_sivi_sum = fft_beli_sum .* A_weighting; % Primena
A-weighting filtra na frekvencijski spektar

sivi_sum = real(ifft(fft_sivi_sum));

% Prikazivanje vremenskog domena
t = (0:N-1)*ts;
plot(t, sivi_sum);
grid on
set(gca, 'FontSize', 36);
```

```
title('Sivi šum u vremenskom domenu','fontsize',48);  
xlabel('Vreme [s]','fontsize',48);  
ylabel('Amplituda','fontsize',48);  
  
% Prikazivanje frekvencijskog domena  
figure  
f = (0:(N-1))*(fs/N);  
plot(f, 20*log10(abs(real(iff(sivi_sum)))));  
grid on  
set(gca,'FontSize',36);  
title('Spektralna gustina snage sivog  
šuma','fontsize',48);  
xlabel('Frekvencija [Hz]','fontsize',48);
```

ABSTRACT

Abstract — The objective of this paper is to systematically identify and analyze the most prominent types of noise categorized by color, with particular emphasis on white noise as the foundational reference from which all other types are derived. The study focuses on the spectral and statistical properties of white, pink, brown, blue, purple, and grey noise. Additionally, the paper provides an overview of the fundamental characteristics of the acoustic spectra. It finds applications in fields such as acoustics, audio engineering, and digital signal processing, as it includes spectral analysis of various noise types and demonstrates their critical role in understanding their behavior and practical applications. The paper contains code created in Octave that generates the spectral densities of the noises of interest, and it represents a contribution of the paper.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT NOISE COLORS

Nataša Radulović, Selena Vukotić