

# Frekvencijska zavisnost statističkih osobina muzičkih signala

Dragana Šumarac Pavlović, Aleksandar Dikanović

**Sadržaj** — Poznavanje statističkih osobina audio signala ima velikog značaja u oblasti njihovog procesiranja, predikcije glasnosti, dizajniranja sistema za ozvučavanje itd. U ovom radu su prikazani rezultati statističke analize nivoa signala različitih muzičkih žanrova. Analiza je izvršena po oktavnim frekvencijskim opsezima. Prikazano je nekoliko statističkih parametara dobijenih na uzorku od 150 muzičkih dela iz 8 muzičkih žanrova.

**Ključne reči** — dinamika muzičkih signala, statistička analiza raspodele nivoa

## I. UVOD

**P**OZNAVANJE dinamičkih osobina audio signala je od esencijalnog značaja za razne inženjerske discipline, kao što je kontrola glasnosti pri reprodukciju zvuka i u radiodijuziji, algoritmi za kodovanje, algoritmi za obnavljanje starih snimaka, određivanje potrebne snage pojačavača i slično [1-12]. Inženjerski pristup pitanju dinamike audio signala zahteva preciznije statističke pokazatelje.

U prethodnom radu istog autora prikazane su osnovne statističke osobine određene na širokopojasnom signalu [13]. Pokazane su raspodele kratkovremenog nivoa signala za 12 muzičkih žanrova i numerički pokazatelji izvedeni iz njih. U okviru ovog rada prikazani su neki od rezultata jedne obimne analize koja je izvršena sa ciljem da se sagledaju statističke osobine muzičkih signala po frekvencijama, u ovom slučaju po oktavnim opsezima.

## II. POSTUPAK ANALIZE

Za potrebe istraživanja prikazanog u ovom radu formirana je nova baza muzičkih signala. Ukupno je sakupljeno 160 muzičkih numera iz 8 različitih muzičkih žanrova. To su: filmska muzika, hip hop, house, klasična muzika, narodna muzika, pop, R n B i tehno. Ukupno trajanje analiziranog muzičkog materijala svih žanrova je 8 sati, pri čemu je podešeno da vremensko trajanje signala u svakom od žanrova bilo približno jednako.

Istraživanja na osnovu kojih je napisan ovaj rad sprovedena su u okviru aktivnosti na projektu 23046 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Dragana Šumarac Pavlović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11'3218'361; faks: 381-11-3248681; e-mail: dsumarac@etf.rs).

Aleksandar Dikanović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11'3218'361; faks: 381-11-3248681; e-mail: dicanovic@beotel.net).

Prvi korak u analizi ovih muzičkih signala bila je normalizacija svakog od signala. U okviru signala svake numere normalizacija je izvršena u odnosu na maksimalnu moguću vrednost signala koja je 0 dBFS. Na taj način vrednost najvećeg odmerka koji se javlja tokom trajanja kompozicije podešavana je da bude 0 dBFS.

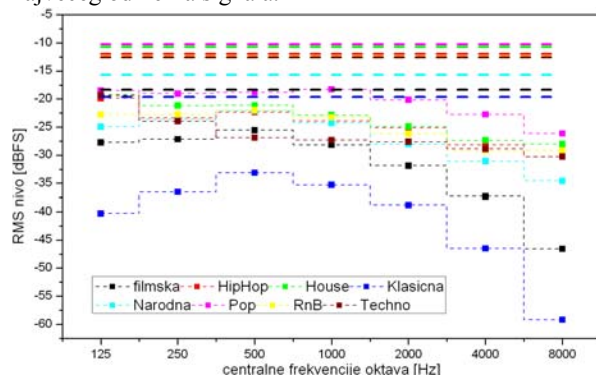
Oktavni filtri koji su korišćeni za filtraciju signala bili su IIR tipa. Oni su projektovani koristeći parametre zadate standardom IEC1260. Korišćeno je sedam oktavnih filtara, od 125 Hz do 8 kHz. Time je za svaku kompoziciju dobijeno sedam novih signala.

U okviru analize za svaku kompoziciju izračunati su:

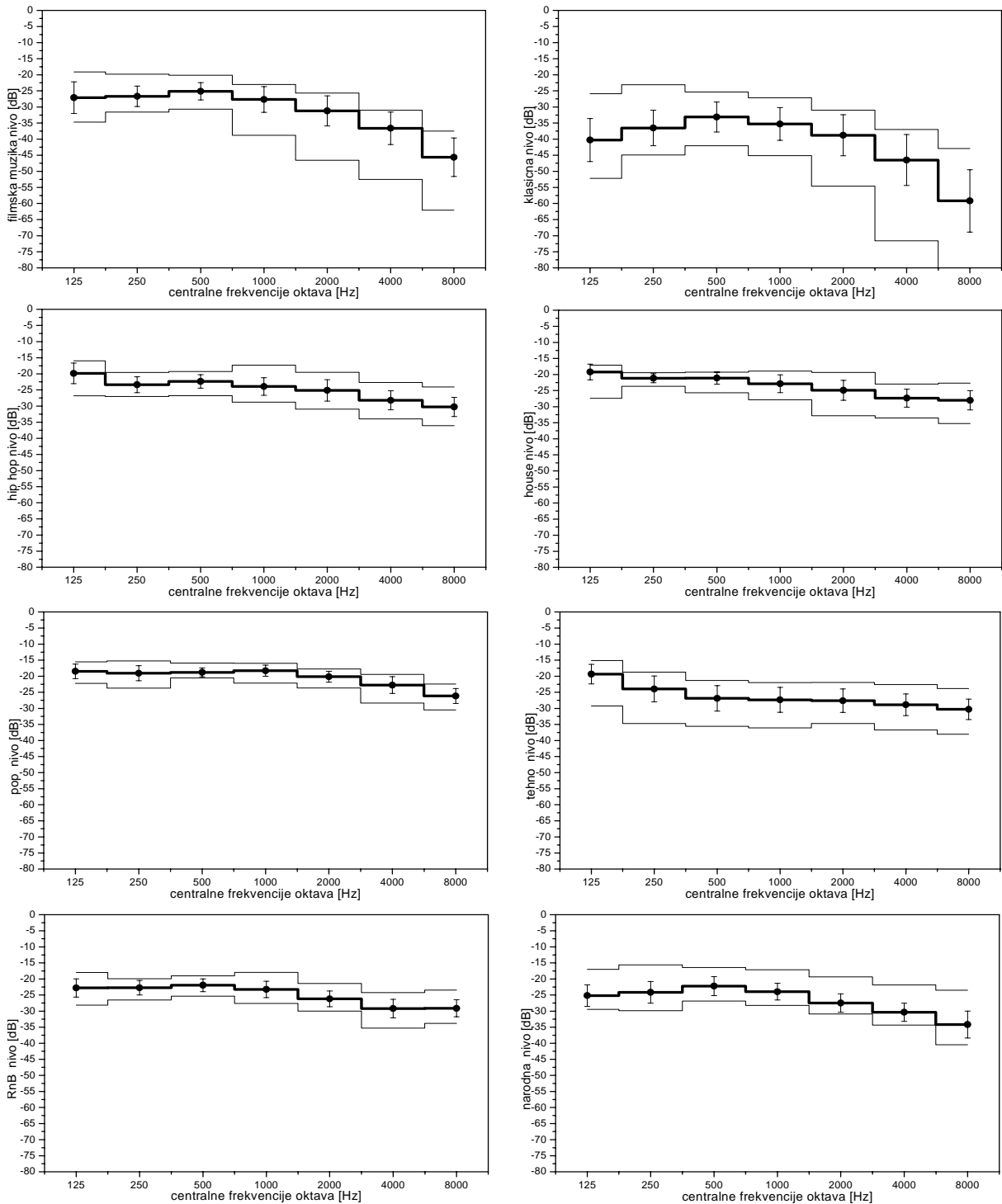
- efektivna vrednost širokopojasnog signala
- efektivne vrednosti signala po oktavnim opsezima
- kratkovremena efektivna vrednosti signala u svim oktavnim opsezima sa vremenskom konstantom integracije 10 ms,
- raspodele nivoa signala po svim oktavnim opsezima,
- kumulativne funkcije na osnovu kojih su izracunati nivoi premašeni u 1%, 10, 50% 99% vremena
- vrednosti skjunis i kurtozis kao statističkih deskriptora raspodele nivoa signala
- Nakon ovakve analize za svaki od žanrova izračunata je još i srednja vrednost raspodela nivoa signala u svih sedam oktavnih opsega.

## III. REZULTATI ANALIZE

Na slici 1 prikazane su srednje efektivne vrednosti nivoa, širokopojasnog i po oktavnim opsezima koje su usrednjene po svim muzičkim numerama unutar svakog žanra i po oktavnim opsezima. Ravnim linijama prikazane su širokopojasne RMS vrednosti po žanrovima. Sve vrednosti su prikazane relativno u odnosu na vrednost najvećeg odmerka signala.



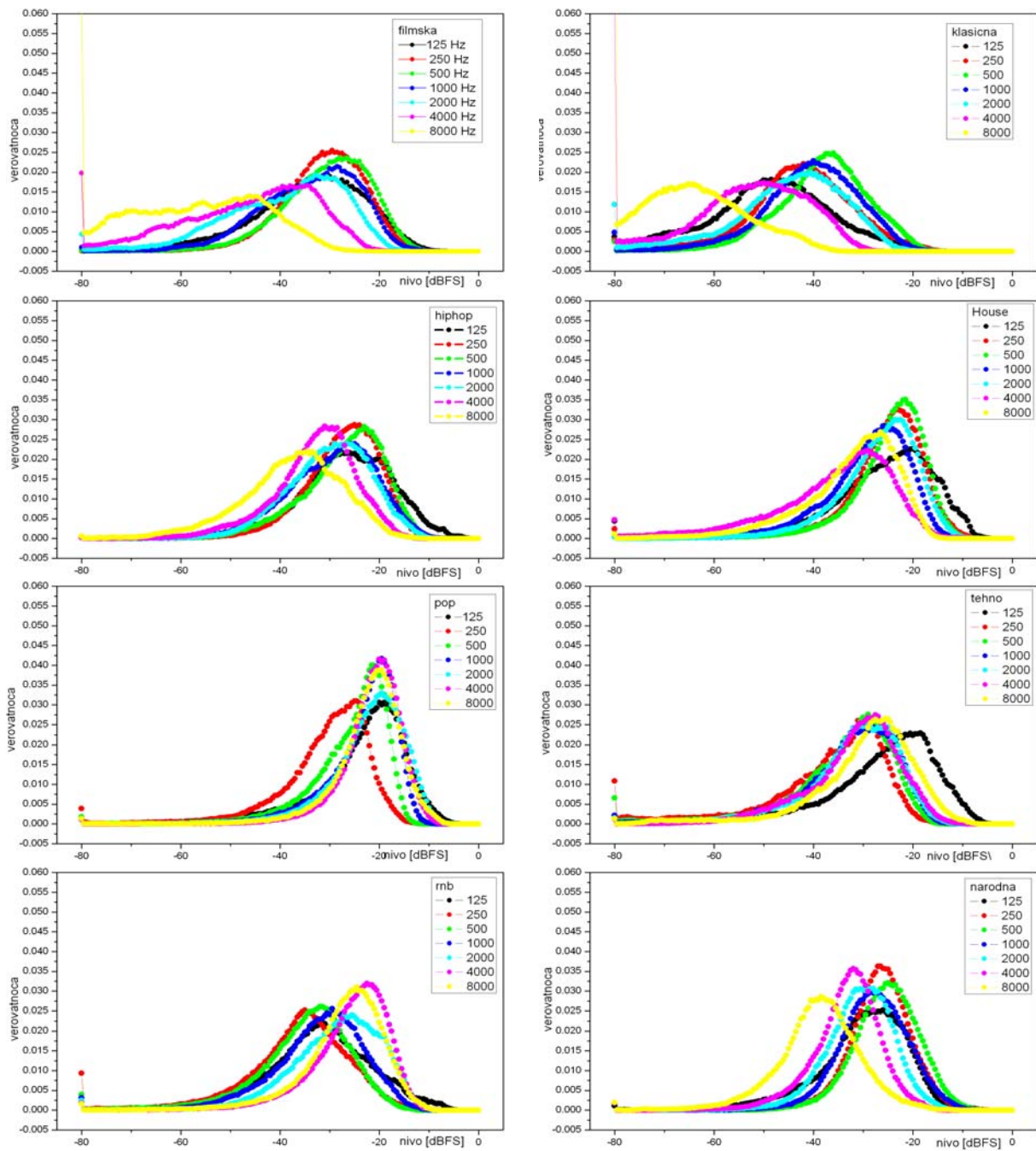
Sl.1 Srednje vrednosti efektivnih vrednosti nivoa širokopojasnog signala i signala po oktavama



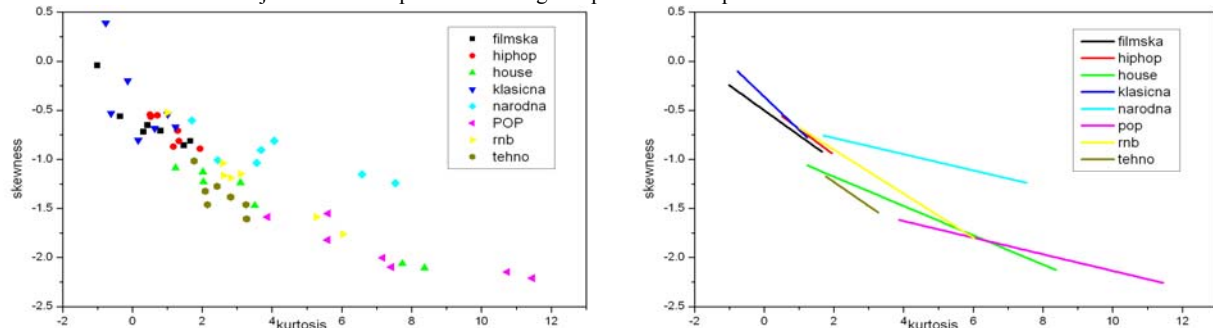
Sl.2 Efektivna vrednosti signala po oktavnim opsezima.

Na slici 2 prikazane su, za svaki žanr pojedinačno, srednje efektivne vrednosti nivo po oktavnim opsezima unutar žanra, kao i standardna devijacija, minimalna i maksimalna vrednost izračunate na osnovu vrednosti nivoa koji se pojavljuju u numerama unutar jednog muzičkog žanra. Sa prikazanih grafika efidentno je da se sami muzički žanrovi razlikuju po tome kolike su devijacije posmatranog parametra unutar žanra. Najveće varijacije nivoa javljaju se kod klasične muzike kod koje

zbog prirode muzičkog signala koji potiče od prirodnih instrumenata imamo veliku razliku u nivoima među oktavama. Unutar ovog žanra efidentno je i veliko rasipanje vrednosti nivoa za pojedane frekvencijske opsege. Suprotan primer je pop muzika kod koje ne postoje značajne razlike među efektivnim vrednostima nivoa kod različitih numera, kao i ujednačenost srednjih efektivnih vrednosti niva po oktavnim opsezima.



Sl.3 Srednje vrednosti raspodela nivoa signala po oktavnim opsezima za osam analiziranih žanrova

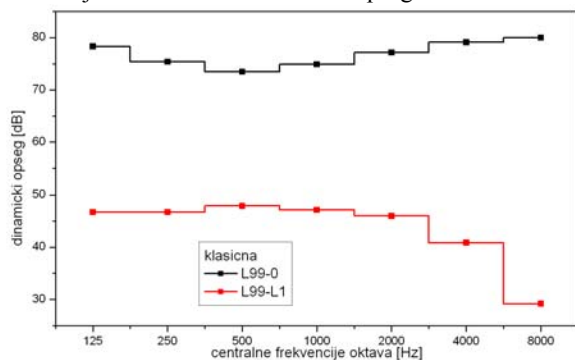


Sl.4 Srednje vrednosti parametara skewness i kurtosis za sve zanrove i sve opsege (levo), odnosno odgovarajuće linearne aproksimacije njihove međuzavisnosti (desno).

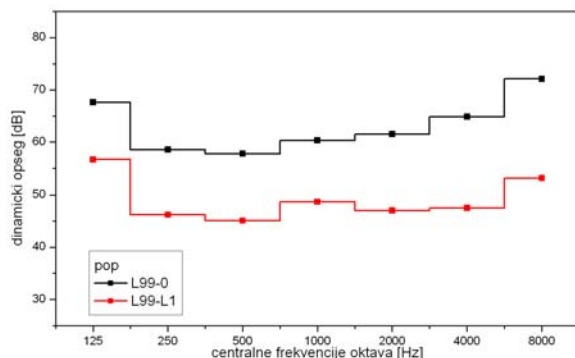
Druga važna karakteristika je raspodela nivoa signala unutar pojedinih frekvencijskih opsega. Na slici 3 prikazane su srednje vrednosti raspodela unutar jednog frekvencijskog opsega usrednjene po svim numerama u jednom žanru. Među žanrovima postoje razlike u obliku svake pojedinačne raspodele kao i u poziciji srednje vrednosti duž skale nivoa. Za neke žanrove karakteristično je da se raspodele po svom obliku ne razlikuju mnogo od opega do opsega (primer tehno muzike) i žanrovi gde su te razlike mnogo izraženije.

Oblik statističke raspodele kvantifikovan je momentima višeg reda i to koeficijentom spljoštenosti (skjunis) i koeficijentom asimetrije (kurtozis) koji su prikazani na dijagramima na slici 4. Na levom dijagramu prikazane su vrednosti skjunisa i kurtozisa za svaki pojedinačni opseg unutar različitih žanrova dok su na desnom dijagramu prikazane linearne aproksimacije međusobne zavisnosti ova dva parametra po svakom žanru u svim oktavnim opsezima.

Na slici 5 i 6 prikazane su dva primera efektivnog dinamičkog opsega signala koji je definisan kao opseg vrednosti između 0dBFS i vrednosti nivoa koji je premašen u 99% vremena, kao i dinamički opseg koji je definisan kao razlika nivoa koji su premašeni u 1% i 99% vremena. Na slici 5 prikazani su dijagrami ova dva dinamička opsega za klasičnu muziku. Vidi se da je u najvišoj oktavi na 8 kHz nivo signala znatno ispod 0dBFS, koji je reda veličine -60dBFS. To pokazuje da se koristan signal spušta znatno ispod -80dBFS. Potpuno druga situacija je kod pop muzike (slika 6), gde postoji ujednačenija raspodela nivoa po opsezima što se reflektuje i na efektivni dinamički opseg.



Sl. 5. Vrednosti efektivnog dinamičkog opsega po oktavana za klasičnu muziku



Sl. 6. Vrednosti efektivnog dinamičkog opsega po oktavana za pop muziku.

#### IV. ZAKLJUČAK

Razlike koje postoje u dinamičkim karakteristikama različitih muzičkih signala analizirani su na bazi statističkih pokazatelja raspodele nivoa signala po oktavnim frekvencijskim opsezima. Svi prikazani parametri kao što su efektivna vrednost signala i njena odstupanja unutar žanra, oblik raspodele i njeni deskriptori, skjunis i kurtozis, pokazuju značajne varijacije među različitim žanrovima. Dobijeni podaci mogu, na primer, da posluže kao osnov za planiranje performansi pojačavača u višesistemskim aktivnim zvučničkim sistemima. Takođe su to informacije koje mogu biti značajne u odabiru algoritama za kompresiju audio signala.

#### LITERATURA

- [1] N.Thiele, "Some thoughts on the dynamics of reproduced sound", Journal of AES, Vol. 53, No. 1/2, 2005, pp 130-132
- [2] L.Sivian, H.Dunn, S.White, "Absolute amplitudes and spectra of certain musical instruments and orchestras", JASA, Vol. 2 (1931), pp 330-371
- [3] W.Davenport, "An experimental study of speech wave probability distributions", JASA, Vol. 24 (1952), pp 390-399
- [4] D.J.Meares, "Statistics of typical programme sound pressure levels in sound studios and their control rooms", BBC report RD 1973/37 (1973)
- [5] D.Luce, "Dynamic spectrum changes of orchestral instruments", 51st AES Convention (1975), Preprint No. 1025
- [6] L.G.Møller, "How much has amplitude distribution of music changed", 71st AES Convention (1982) Preprint No. 1864
- [7] P.Mitchell, "A musically appropriate dynamic headroom test for power amplifiers", 83rd AES Convention (1987), Preprint No. 2504
- [8] R.A.Greiner, J.Eggers, "The spectral amplitude distribution of selected compact discs", Journal of AES, Vol. 37, No. 4, 2005, pp 246-248, 250, 252, 254, 256, 258-275
- [9] J.A.McManus, C.Evans, P.Mitchell, "The dynamics of recorded music", 95th AES Convention (1993), Preprint No. 3701
- [10] E.Benjamin, "Characteristics of music signals", 97th AES Convention (1994), Preprint No. 3914
- [11] M.Paraskevas, J.Mourjopoulos, "A statistical study of the variability and features of audio signals: some preliminary results", 100th AES Convention (1996), Preprint No. 4256
- [12] E.Vickers, "Automatic long-term loudness and dynamics matching", 111th AES Convention (2001), Preprint No. 5495
- [13] M.Mijić, D.Mašović, M.Petrović, D.Šumarac Pavlović, "Statistical properties of music signals", 126<sup>th</sup> AES Convention, Preprint No.

#### ABSTRACT

The knowledge about the statistical properties of audio signals is of great importance in their processing, loudness control, designing of reinforcement systems etc. This paper presents results of the statistical analysis of signals in different music genres. The analysis was performed in the octave frequency bands. The paper presents several statistical descriptors obtained on a sample of 150 musical peaces from 8 musical genres.

#### FREQUENCY DEPENDENCE OF STATISTICAL PROPERTIES OF MUSICAL SIGNALS

Dragana Šumarac Pavlović, Aleksandar Dikanović