

Analiza uticaja tempa muzike na raspodelu nivoa signala

Selena Vukotić

Sadržaj — Rezultati istraživanja koji su predstavljeni u ovom radu pokazuju kako brzina ritma utiče na raspodelu nivoa muzičkih signala. Utvrđeno je da postoji zavisnost između tempa i statističke raspodele u smislu pomeranja premašenih nivoa signala u određenim procentima ka višim vrednostima sa porastom tempa. Simboli koji će biti korišćeni u nastavku rada su: L – nivo zvuka, L_{rms} – efektivna vrednost u dB, $L1$, $L10$, $L50$, $L99$ – premašeni nivoi zvuka u 1%, 10%, 50% i 99%, respektivno, bpm (*beats per minute*) – broj naglašanih tonova po minuti (mera tempa kompozicije), AES - *Audio Engineering Society*.

Gljučne reči — Kurtosis, nivo zvuka, numerički indikatori dinamike signala, skjunis, statistička raspodela.

I. UVOD

Poznavanje dinamičkih karakteristika signala je veoma značajno u mnogim inženjerskim granama, kao što su: kontrola buke, algoritmi za kodiranje audio signala, algoritmi za restauraciju starih zapisa, određivanje snage pojačavača za reprodukciju zvuka i dr.

Do sada su sprovedena istraživanja ([1] i [2]) koja su pokazala da različiti muzički žanrovi imaju svoje karakteristične statističke raspodele nivoa zvuka. Pri tome, ispitivano je 12 muzičkih žanrova. Utvrđeno je da postoje razlike u obliku krivih statističkih raspodela za različite žanrove. S obzirom na razliku u statističkim raspodelama, jasno je da će se razlike ogledati i u numeričkim pokazateljima koji su usko vezani za statističku raspodelu. Utvrđena je razlika u muzički relevantnom dinamičkom opsegu koji predstavlja razliku 0 dBFS i $L99$ ($L99$ je premašeni nivo signala u 99% slučajeva). Parametri koji opisuju oblik statističke krive (skjunis i kurtosis) se takođe razlikuju za pojedine žanrove. Isto važi i za krest faktor koji predstavlja značajan pokazatelj dinamike signala.

Ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja [1] i [2] u smislu ispitivanja kako tempo muzičkog signala utiče na statističku raspodelu nivoa signala. Primećen je uticaj tempa na: oblik krive statističke raspodele, parametre koji je opisuju (skjunis i kurtosis), kao i na druge numeričke pokazatelje vezane za dinamiku signala koji pokazuju

premašene nivoe signala u određenim procentima. Razlike su prikazane tabelarno i grafički.

II. METODE ANALIZE

Kao uzorci za ispitivanje uticaja tempa na statističku raspodelu nivoa signala su korišćene dve klavirske kompozicije. One su odsvirane na elektronskom klaviru različitim brzinama. Kompozicije su komponovane namenski za ovo istraživanje. Snimljene su u *wav* formatu. Svaka kompozicija je odsvirana normalnim tempom, 25% ubrzanim tempom, 50% ubrzanim tempom, 25% usporenim tempom i 50% usporenim tempom. Jednoj kompoziciji je u ovom radu dat naziv Kompozicija 1 i njen osnovni tempo je 60 bpm (bpm označava broj naglašanih tonova po minuti), a drugoj je dat naziv Kompozicija 2 i njen osnovni tempo je 196 bpm.

Za muzičke uzorke, Kompoziciju 1 i Kompoziciju 2, su računati sledeći statistički indikatori: nivo signala za ceo muzički uzorak, odnosno efektivna vrednost L_{rms} ; vremenska varijacija nivoa signala koja se javlja tokom trajanja uzorka, koja je određena primenom perioda integracije od 10 ms i sa preklapanjem od 90%; verovatnoća raspodele nivoa signala, gde je period integracije takođe 10 ms. Izračunati su i prevaziđeni nivoi signala $L99$, $L50$, $L10$ i $L1$ u 99%, 50%, 10% i 1%, respektivno, kao i numerički pokazatelji statističke raspodele, skjunis i kurtosis. Pri tom su sve vrednosti koje se odnose na nivoe signala u dBFS jedinicama.

Muzički uzorci, zapisani u *wav* formatu, su učitani u program u Matlabu koji je namenski napravljen za ovo istraživanje i kompletno su obrađeni u njemu. Pronađen je odbirak koji ima najveću apsolutnu vrednost i izvršena je normalizacija tako što su svi odbirci podeljeni apsolutnom vrednošću pomenutog odbirka.

Da bi se smanjio uticaj šuma, uklonjeni su periodi tišine na počecima i krajevima kompozicija. To je urađeno nakon normalizacije tako što je ispitivano redom za svaki odbirak počevši od prvog za uklanjanje tišine na početku i od zadnjeg za uklanjanje tišine na kraju kompozicije da li je odbirak manji od 0.000001 i ako jeste, odbirak je izbrisan. Pretpostavljeno je da ukoliko je odbirak manji od pomenute vrednosti, potiče od šuma, a ako nije manji da je sastavni deo kompozicije.

Efektivna vrednost je određena prema formuli:

$$L_{rms} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N}$$

Selena Vukotić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija; (e-mail: selena.vukotic@gmail.com).

Ovde je L_{rms} normalizovana efektivna vrednost, N je ukupan broj odbiraka, a x_i su normalizovani odbirci.

Primenjeno je vreme usrednjavanja od 10 ms. Frekvencija odabiranja je 44100 Hz, te je vremenski interval između dva odbirka jednak $2.27 \cdot 10^{-5}$ s. U periodu od 10 ms sadržano je 441 odbiraka. Vrednosti odbiraka su sabrane i podeljene brojem odbiraka, tj. određena je srednja vrednost. Postupak usrednjavanja se primenjuje u cilju ujednačavanja nivoa signala i pronalaženja zavisnosti raspodele nivoa signala od vremena.

Uvedeno je preklapanje prilikom računanja nivoa signala da bi se, kao i primenom vremena usrednjavanja od 10 ms, ujednačio nivo. To znači da će u izračunavanju određenih nivoa biti uključeni pojedini odbirci koji figurišu i u izračunavanju nekih drugih, susednih nivoa. Preklapanje iznosi 90%, što znači da se u jednom trenutku od 441 odbirka izračunava vrednost nivoa, dok se u sledećem trenutku ta vrednost izračunava takođe od 441 odbirka, ali 90% tih odbiraka pripada prethodnom intervalu.

Normalizovani odbirci su kvadrirani, čime je dobijen novi vremenski zavisni niz. Na taj niz je primenjen opisani postupak vremenskog usrednjavanja sa preklapanjem od 90%. Za svaki element novodobijenog niza nakon usrednjavanja je izračunato 10 logaritama tog elementa sa osnovom 10, čime su izračunati normalizovani nivoi signala u funkciji od vremena. Rezolucija vremenske ose iznosi 10% od broja odbiraka koji se usrednjavaju (44.1) pomnoženih trajanjem jednog odbirka ($2.27 \cdot 10^{-5}$ s).

Histogram je određen tako što je osa vrednosti nivoa zvuka diskretizovana (izabran je opseg od -80 dB do 0 dB sa koracima od 0.5 dB) i svakoj diskretnoj vrednosti je dodeljen procenat ukupnog broja odbiraka. Da bi to bilo moguće, pronađeni su procenti ukupnog broja odbiraka koji pripadaju okolinama pomenutih diskretnih vrednosti nivoa signala, dok se vrednosti koje spadaju u opseg ($-\infty$ dB, -80 dB) uračunavaju u procenat za vrednost -80 dB. S obzirom na to da histogram za -80 dB pokazuje približno 0%, jasno je da su granice histograma pravilno izabrane i da zaista postoji zanemarljiv broj odbiraka čiji je nivo manji od -80 dB. Na osnovu histograma direktno je dobijena funkcija statističke raspodele nivoa signala.

Izračunati su statistički parametri skjunis i kurtozis za svaku kompoziciju i odgovarajuće ritmove. Definicije skjunisa i kurtozisa se nalaze u prilogu.

Kumulativna funkcija verovatnoće je dobijena direktno iz histograma, odnosno procentualne zastupljenosti pojedinih nivoa, a na osnovu kumulativne funkcije lako su pronađeni prevaziđeni nivoi signala u određenim procentima.

Izračunati statistički parametri su prikazani u Tabeli 1 za Kompoziciju 1 i Tabeli 2 za Kompoziciju 2.

Tabela 1: Statistički parametri za Kompoziciju 1

Kompozicija 1	Lrms	Skjunis	Kurtozis	L99	L50	L10	L1
-50%	-19.7	-1.6	6.2	-50.0	-24.5	-16.0	-11.0
-25%	-18.0	-1.3	5.8	-41.5	-22.0	-14.5	-10.0
normalno	-18.2	-2.9	14.3	-58.5	-21.0	-15.0	-10.5
+25%	-18.0	-2.2	13.8	-37.5	-20.5	-15.0	-11.0
+50%	-17.3	-2.9	17.1	-47.0	-19.5	-14.0	-10.5

Tabela 2: Statistički parametri za Kompoziciju 2

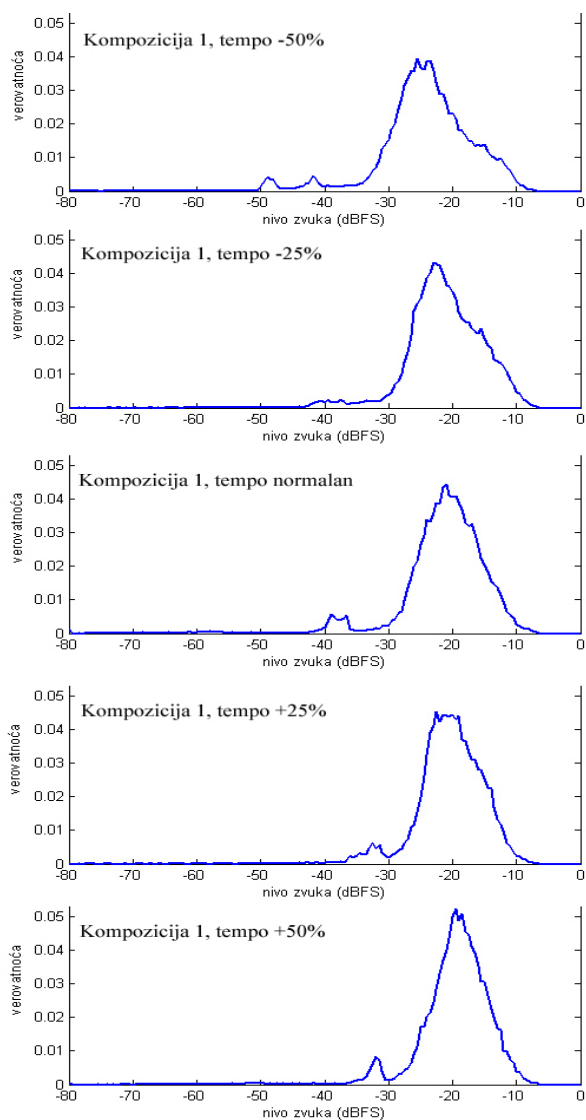
Kompozicija 2	Lrms	Skjunis	Kurtozis	L99	L50	L10	L1
-50%	-22.4	-1.2	1.3	-66.5	-28.5	-18.5	-13.0
-25%	-20.4	-1.7	3.8	-66.0	-24.5	-17.0	-12.0
normalno	-18.4	-1.9	6.4	-55.5	-21.5	-15.0	-10.5
+25%	-18.1	-2.5	9.1	-65.0	-21.0	-14.5	-10.5
+50%	-17.3	-3.0	14.6	-65.0	-20.5	-14.0	-10.0

III. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

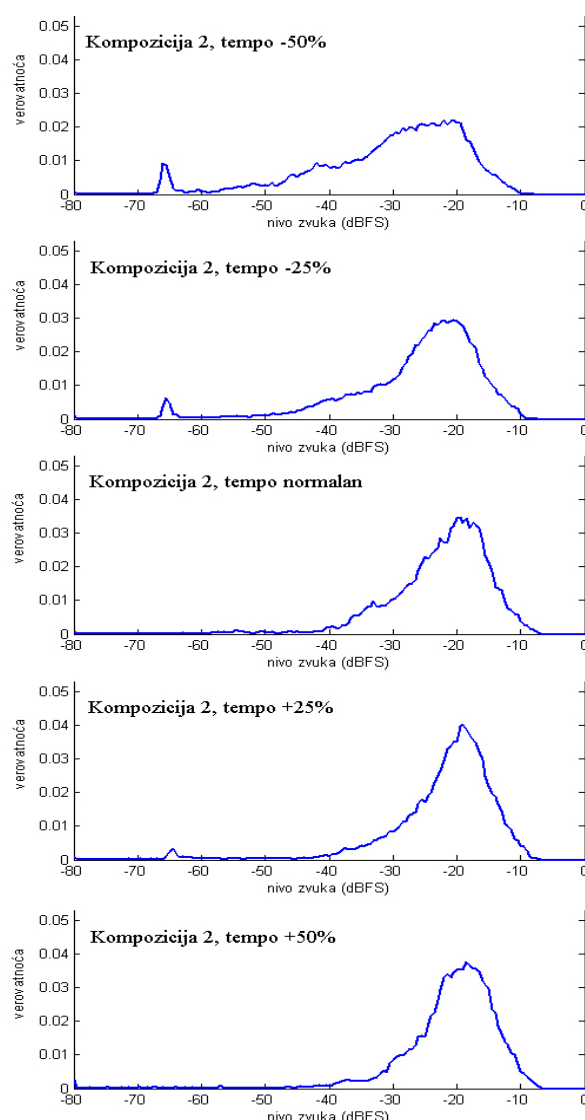
Na osnovu brojeanih vrednosti koje se nalaze u tabelama uočava se da sa porastom tempa rastu i vrednosti kurtozisa, dok vrednosti skjunisa opadaju. U slučaju Kompozicije 2 nema nikakvog odstupanja od ovog tvrdjenja, a kod Kompozicije 1 postoje mala odstupanja, odnosno zavisnost nije pravilna kao kod Kompozicije 2, ali znatno preovladava povećanje vrednosti za kurtozis sa porastom ritma u odnosu na blago opadanje u nekim slučajevima. Slično važi i za skjunis, jedina je razlika što skjunis opada kada kurtozis raste, što je sasvim očekivano kada se uzmu u obzir definicije skjunisa i kurtozisa. Kada je skjunis negativan (što je slučaj za svaki ispitani uzorak u ovom radu), to ima za posledicu da je levi rep krive statističke raspodele duži u odnosu na desni i da se većinski deo raspodele nalazi na desnoj strani dijagrama statističke raspodele. Što je skjunis manji, prethodno navedene karakteristike postaju izraženije, a kriva statističke raspodele ima istaknutiji vrh u blizini srednje vrednosti i to prati porast kurtozisa.

Može se primetiti da premašene vrednosti nivoa signala u 50% i 10% slučajeva, $L50$ i $L10$, respektivno, rastu sa porastom tempa. To je očekivano jer su pomenute vrednosti korelisane sa oblikom statističkih krivih koje su opisane parametrima skjunis i kurtozis. Efektivna vrednost se povećava sa porastom tempa, mada i ovde postoje blaga odstupanja kod Kompozicije 1. Povećanje efektivne vrednosti nastaje zbog toga što kada je kompozicija brže odsvirana dolazi do izraženijeg preklapanja obvojnice prethodnog tona i tona koji se svira i samim tim dolazi do povećanja nivoa zvuka. Kada su u pitanju premašene vrednosti u 99% i 1% slučajeva, $L99$ i $L1$, respektivno, nema vidne zavisnosti od tempa, što je razumljivo budući da skori sve vrednosti nivoa signala premaše $L99$ i da skoro ni jedna ne premaši $L1$.

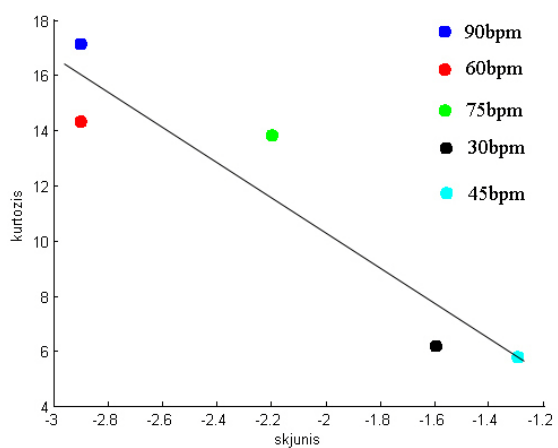
Na prikazanim slikama, Sl. 1. i Sl. 3., predstavljene su statističke raspodele nivoa signala za Kompoziciju 1 i Kompoziciju 2. Na Sl. 1. i Sl. 3. se jasno uočava promena karakteristika statističkih krivih sa porastom tempa. Evidentna je zavisnost statističkih parametara skjunis i kurtozis od promene tempa, a to se ogleda u „pomeranju” grafika ka desnoj strani i istovremenom „sabijanju”. To je očekivano jer što je manji skjunis, duži je levi rep grafika, a što je veći kurtozis, raspodela ima izraženiji vrh u blizini sredine. Primećuje se povećanje vrednosti funkcije statističke raspodele u okolini nižih nivoa koji se nalaze na levom repu grafika. To je posledica šuma kojeg proizvodi instrument. Do određene mere je redukovana odvajanjem perioda tišine na počecima i krajevima kompozicija od korisnog dela.



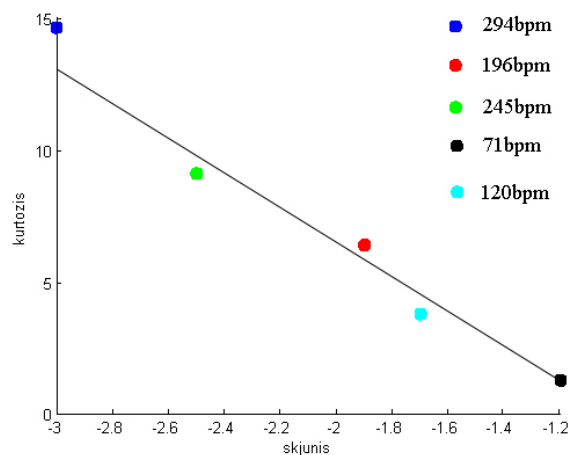
Sl. 1. Statističke raspodele nivoa signala za Kompoziciju 1



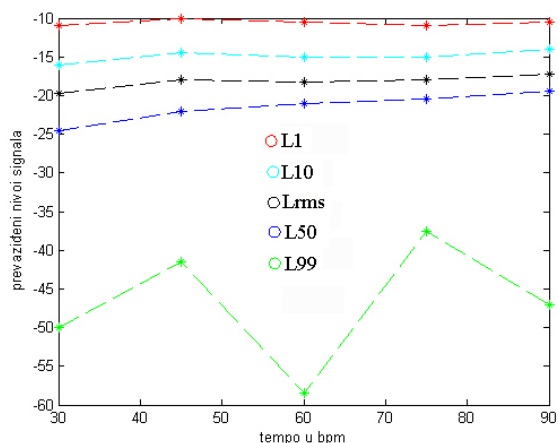
Sl. 3. Statističke raspodele nivoa signala za Kompoziciju 2



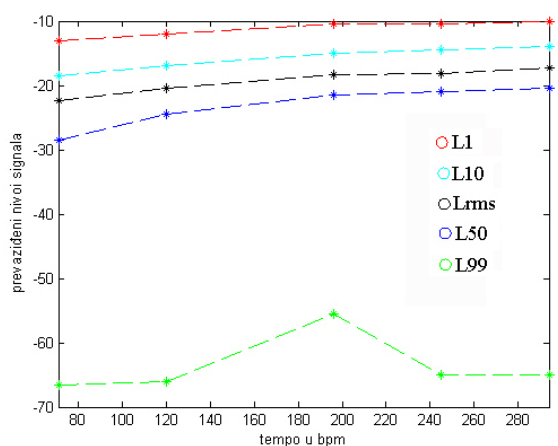
Sl. 2. Odnos skjunisa i kurtozisa za Kompoziciju 1



Sl. 4. Odnos skjunisa i kurtozisa za Kompoziciju 2



Sl. 5. Premašeni nivoi signala i efektivna vrednost u zavisnosti od tempa za Kompoziciju 1



Sl. 6. Premašeni nivoi signala i efektivna vrednost u zavisnosti od tempa za Kompoziciju 2

IV. PRILOG – DEFINICIJE SKJUNISA I KURTOZISA

Parametri skjunisa i kurtozisa su numeričke karakteristike oblika statističke raspodele u poređenju sa normalnom (Gausovom) raspodelom. Njihove vrednosti pokazuju položaj i promenljivost podataka.

Skjunis (γ_1) je mera simetrije statističke raspodele oko sredine. Skjunis je za normalnu raspodelu 0. Negativna vrednost znači da je levi rep duži i da je najveći deo raspodele koncentrisan na desnoj strani dijagrama raspodele. Pozitivna vrednost skjunisa znači da je desni rep duži i da je najveći deo raspodele na levoj strani.

Kurtozis (γ_2) je parametar koji pokazuje koliko raspodela ima istaknut vrh u blizini sredine u odnosu na normalnu raspodelu. Kurtozis je za normalnu raspodelu 0. Negativna vrednosti kurtozisa pokazuje da raspodela ima ravan vrh u odnosu na normalnu raspodelu u blizini sredine. Ekstremna slučaj je uniformna raspodela. Pozitivna vrednost znači da raspodela ima istaknut maksimum u blizini sredine u odnosu na normalnu raspodelu.

Skjunis (γ_1) je definisan kao treći standardizovani moment:

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$$

Ovde je μ_3 treći moment oko sredine i σ je standardna devijacija. Za skup podataka x_i skjunis je:

$$\gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N-1)\sigma^3}$$

Ovde je \bar{x} srednja vrednost, a N je broj podataka.

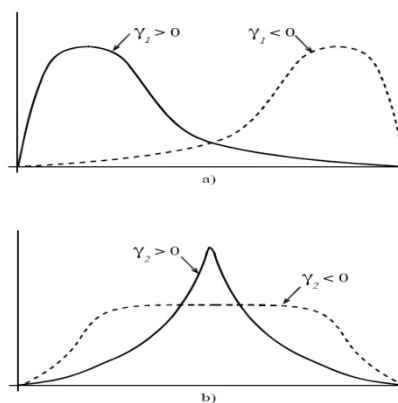
Kurtozis (γ_2) je definisan kao četvrti standardizovani moment:

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3$$

Ovde je μ_4 četvrti moment oko sredine, a -3 na kraju formule korekcija da bi kurtozis normalne raspodele bio 0. Za skup podataka x_i kurtozis je:

$$\gamma_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{(N-1)\sigma^4} - 3$$

Ilustracije raspodela sa različitim vrednostima skjunisa i kurtozisa su predstavljene na Sl. 1.



Sl. 7. Ilustracije skjunisa (a) i kurtozisa (b)

LITERATURA

- [1] Miomir Mijić, Draško Mašović, Milan Petrović, Dragana Šumarac-Pavlović, „Statistical Properties of Music Signals“, prezentovan na 126. Konvenciji AES-a.
- [2] Draško Mašović, „Dinamika muzičkog signala i njegove osobine za različite muzičke žanrove“, unpublished.

ABSTRACT

The results of the research which are presented in this paper show how the speed of the rhythm effects the statistical distribution of signal level. It has been determined that there is a correlation between tempo and statistical distribution in the sense of movement of the exceeded values in specific percentage towards higher values with the increase of tempo. The symbols which are used in this paper are: L – the sound level, L_{rms} – effective value in dB, $L1$, $L10$, $L50$, $L99$ – exceeded sound levels in 1%, 10%, 50% i 99%, respectively, bpm - beats per minute (the measure of the composition tempo, AES - Audio Engineering Society).

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MUSICAL TEMPO ON THE STATISTICAL DISTRIBUTION OF SIGNAL

Selena Vukotić