

Prepoznavanje tempa pjesme iz glazbenog signala

Mostarac, Irena

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:964565>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-22**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**PREPOZNAVANJE TEMPA PJESME IZ GLAZBENOG
SIGNALA**

Završni rad

Irena Mostarac

Osijek, 2017.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 19.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

| | |
|--|---|
| Ime i prezime studenta: | Irena Mostarac |
| Studij, smjer: | Prediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika |
| Mat. br. studenta, godina upisa: | 3945, 20.07.2014. |
| OIB studenta: | 15352604612 |
| Mentor: | Izv. prof. dr. sc. Irena Galić |
| Sumentor: | Hrvoje Leventić |
| Sumentor iz tvrtke: | |
| Naslov završnog rada: | Prepoznavanje tempa pjesme iz glazbenog signala |
| Znanstvena grana rada: | Programsko inženjerstvo (zn. polje računarstvo) |
| Predložena ocjena završnog rada: | Izvrstan (5) |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina |
| Datum prijedloga ocjene mentora: | 19.09.2017. |
| Datum potvrde ocjene Odbora: | 27.09.2017. |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija: | Potpis: |
| | Datum: |



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 25.09.2017.

Ime i prezime studenta:

Irena Mostarac

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

3945, 20.07.2014.

Ephorus podudaranje [%]:

1%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Prepoznavanje tempa pjesme iz glazbenog signala**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Irena Galić

i sumentora Hrvoje Leventić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Zadatak završnog rada..... | 1 |
| 2. OBRADA SIGANALA..... | 2 |
| 2.1. Metoda otkucaja | 2 |
| 2.2. Fourierova transformacija | 3 |
| 2.3. Tolonenova i Karjalainenova metoda obrade signala | 5 |
| 2.4. Scheirerova metoda obrade signala..... | 7 |
| 3. REZULTATI..... | 9 |
| 3.1. Rezultati mjerenja Scheirerovom metodom..... | 9 |
| 3.2. Rezultati mjerenja metodom otkucaja..... | 10 |
| 3.3. Usporedni rezultati između mjerenja Scheirerovom metodom i metodom otkucaja | 11 |
| 4. ZAKLJUČAK | 16 |
| LITERATURA..... | 18 |
| SAŽETAK..... | 20 |
| ABSTRACT | 20 |
| POPIS I OPIS UPOTRIJEBLJENIH KRATICA..... | 21 |
| ŽIVOTOPIS | 22 |
| PRILOG – DETALJNI REZULTATI MJERENJA..... | 23 |

1. UVOD

Tempo se određuje kako bi se dobila informacija o brzini otkucaja glazbenog signala. Kao jednostavna metoda se nameće da čovjek svojim slušanjem glazbenog signala, rukom otkuca brzinu izvođenja glazbenog djela. Najčešće je riječ o otkucavanju glazbenog signala u jednoj minuti, te se nakon toga pobroji količina otkucaja i dobije broj otkucaja u minuti.

Budući da ljudsko uho ima određeni spektar tlaka zvuka i frekvencija na kojim čuje, određivanje tempa otkucavanjem čovjeka nije najbolje rješenje za sve ljude. Pri tom procesu se događaju tri greške: zbog nedovoljno istaknutog sluha, nedovoljne mehaničke vještine čovjeka za otkucavanje te mehaničke sposobnosti uređaja na kojem se kuca.

Kako bi se izbjegle te tri pogreške kod svakodnevnog čovjeka, došlo se na ideju određivanja tempa računalnim putem. Glazbeni signal se pretvori u valni oblik, preko Fourierove transformacije se obradi signal te iz nje izvlači količina bita po minuti. Na taj način, jednako i glazbeno nadareni i glazbeno nenadareni ljudi, dobivaju rezultati za sve vrste glazbe, a posebno za one s istaknutijom količinom udaraca u glazbenoj pozadini. Izdvojeni otkucaji u pozadini dat će jasniji glazbeni signal koji program lako može prepoznati, samim time lakše i odrediti količinu otkucaja u minuti.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak određivanja tempa iz glazbe je saznati koliko bita po minuti dođe iz glazbenog signala. Za određivanje se upotrebljava nekoliko metoda, nekoliko žanrova te se na osnovu usporednih rezultata određuje koja metoda je najprikladnija za koji žanr glazbe.

2. OBRADA SIGANALA

Valni oblik glazbenog signala je sastavljen od mnogobrojnih vrhova različitih visina i udaljenosti. [1] Mjerenjem udaljenosti tih vrhova je moguće dobiti tempo glazbenog signala. Pri čemu je prema (2-1) tempo obrnuto proporcionalan udaljenosti d između ta dva vrha. Kako se gleda tempo u jednoj minuti cijeli proces se množi sa 60.

$$BPM = \frac{1}{d} \cdot 60 \quad (2-1)$$

Za mjerenje tempa na taj način bi idealno bilo kada bi sve udaljenosti bile jednake, što je u praksi jako rijetko. Stoga se signal dijeli na nekoliko dijelova koji su približno monotoni.

Također ni svi dijelovi glazbenog signala nemaju jednaku količinu informacije o ritmu. Poznato je da je na nižim frekvencijama istaknutiji glazbeni tempo. Takav problem bi jednostavno mogao riješiti niskopropusni filter, međutim problem bi se javio kod signala koji ne sadrže bas ili udaraljke, tj. kod nejasnog signala za niskopropusni filter.

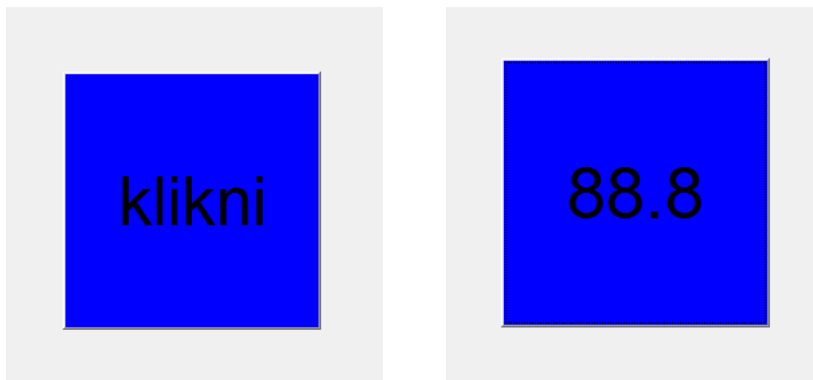
Postoji nekoliko metoda rješavanja tog problema, a sve, osim metode otkucaja se temelje na postavljanju niza filtera te obradi signala Fourierovom transformacijom i obrnutom Fourierovom transformacijom. Niz se sastoji od 2 pa na više filtera. Dok se kod metode otkucaja uopće ne koristi računalna obrada

2.1. Metoda otkucaja

Još pri samim počecima obrade glazbe od strane DJ-a nametalo se pitanje određivanja količine otkucaja u glazbenom signalu. Naime, DJ-evi su željeli ukomponirati dva glazbena signala u jedan i od toga dobiti neki novi, zabavniji zvuk. To nije bilo izvedivo za sve kombinacije glazbe jer je jako loše zvučalo. Ubrzo su shvatili važnost sličnosti tempa ukomponiranih glazbenih signala. Najjednostavnije je bilo na klasičan školski način odrediti tempo, dakle, kucanjem rukom.

Osoba bi pustila da se jedna te ista pjesma vrti u krug te bi na osnovi sluha otkucavala svaki glazbeni otkucaj. Na kraju bi se broj otkucaja podijelio na broj minuta te se dobio broj otkucaja u minuti (BPM) metodom otkucaja. Vrlo ubrzo je to određivanje postalo naporno i previše dugotrajno te se došlo na ideju da se na osnovu samo nekoliko prvih otkucaja odredi tempo, tako što bi se broj otkucaja podijelio s brojem otkucajnih sekundi, a nakon toga pomnožio sa 60 (broj sekundi u minuti).

Takav način ubrzao je postupak određivanja s metodom otkucaja, ali davao i nešto netočnije rezultate, nego otkucavanje kroz cijeli glazbeni signal. To je i dalje davalo dovoljno precizan rezultat za tu svrhu jer je nepotrebna stopostotna podudarnost količine otkucaja, a i glazba nema na svim dijelovima jednaku količinu otkucaja u pozadini.[2]



Sl. 2.1. Prikaz brojača otkucaja, prije otkucavanja(lijevo) i poslije otkucavanja(desno) u Matlabu

2.2. Fourierova transformacija

Budući da je poznato kako se najlakše obrađuju sinusni i kosinusni signali pogodno je da su svi signali prikazani preko zbroja sinusa i kosinusa. Jean Baptiste Joseph Fourier je došao na ideju da sve periodične signale prikaže kao sumu sinusa i kosinusa. Ta suma se naziva Fourierov red.

Fourierov red vrijedi za sve periodične funkcije koje imaju period $[-T/2, T/2]$. Ako je funkcija neperiodična može se uzeti u obzir da joj je interval ponavljanja beskonačno te se tako svesti na periodičnu funkciju. Svođenjem i neperiodičnih funkcija na periodične zapravo se dobije rezultat kako se sve funkcije mogu rastaviti na Fourierov red.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n a_k \sin(kx + \Phi_k), \quad n \geq 0 \quad (2-2)$$

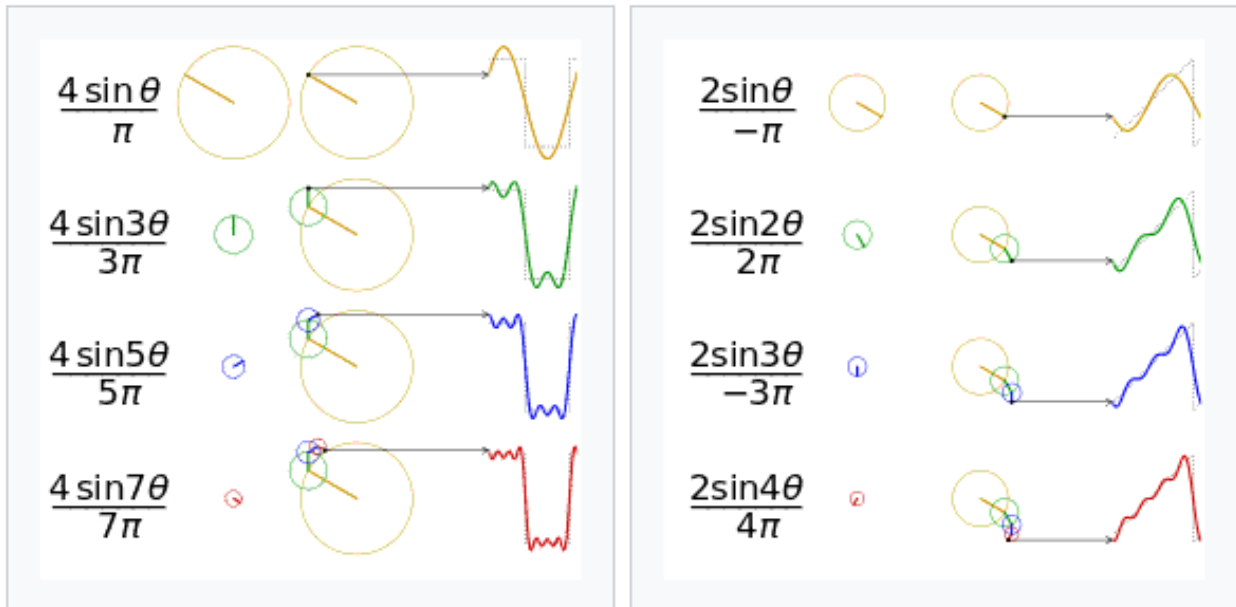
Pri čemu je a_k amplituda, a Φ_k faza sinus funkcije frekvencije k . $\frac{a_0}{2}$ predstavlja translaciju funkcije po y-osi, često se naziva DC komponentom.

Ako se primjeni adicijska formula za sinus funkciju formula za Fourierov red će se moći zapisati:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \sin(kx) \cos\Phi_k + a_k \cos(kx) \sin\Phi_k). \quad (2-3)$$

Iz formule je vidljivo kako su $\sin\Phi_k$ i $\cos\Phi_k$ konstante te se mogu posmatrati kao jedna cjelina s koeficijentima a_k dobiva se konačan izraz za Fourierov red:[3]

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \sin(kx) + b_k \cos(kx)) , \quad n \geq 0. \quad (2-4)$$



Sl. 2.2. Usporedni prikaz Fourierovog reda pravokutne i trokutaste funkcije za 1., 2., 3. i 4. član Fourierovog reda pojedine funkcije. Izvor: [4]

Iz slike 2.2. je vidljivo kako uzimajući što veći broj harmonika u obzir, funkcija se vjerodostojnije prikazuje preko sume sinusa i kosinusa.

Koristeći Eulerovu formulu i uzimajući u obzir beskonačni interval Fourierov red možemo zapisati u obliku:

$$f(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{T} F\left(\frac{k}{T}\right) e^{\frac{2\pi kxi}{T}} \quad (2-5)$$

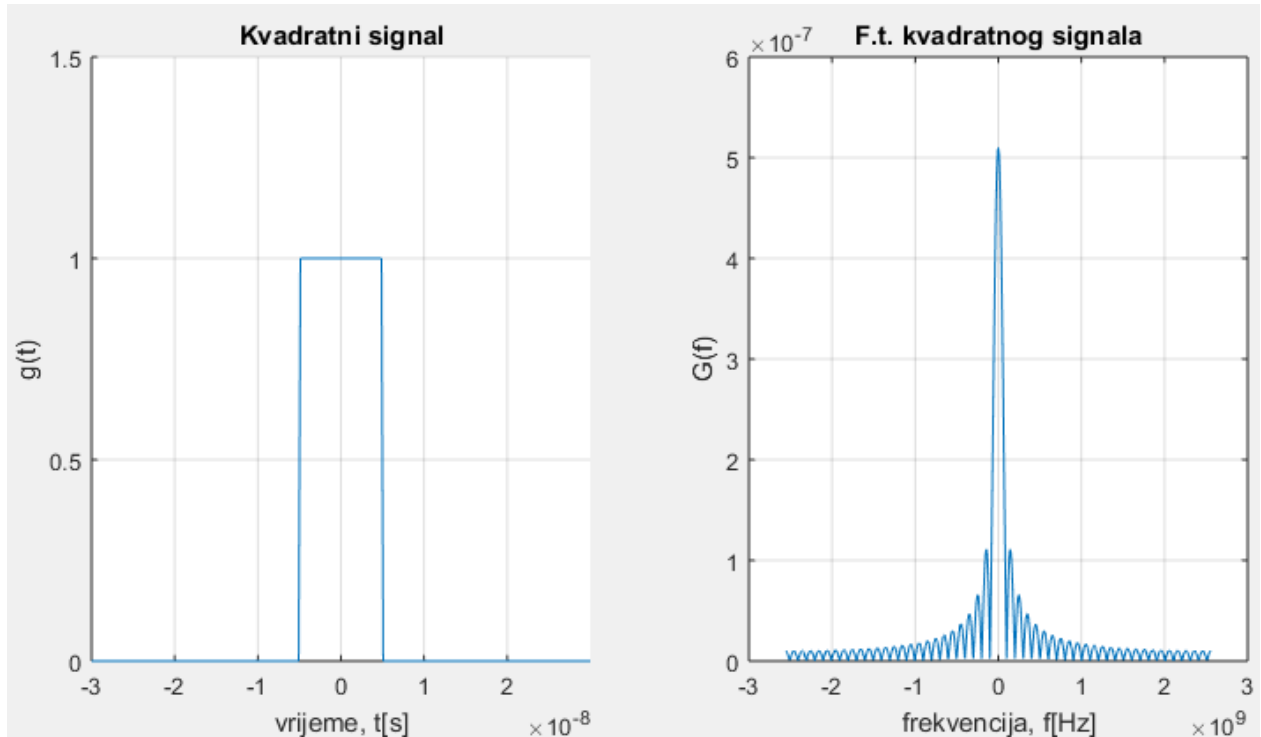
Kada se pusti varijabla $T \rightarrow \infty$, varijabla k/T prelazi iz diskretne varijable u kontinuiranu varijablu s te formula (2-5) postaje:

$$F(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi sxi} dx \quad (2-6)$$

Time se dobije Fourierova transformacija, dok obrat te funkcije glasi:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(s)e^{2\pi sxi} ds \quad (2-7)$$

S Fourierovom transformacijom se može iz vremenske domene preći u frekvencijsku.[5]

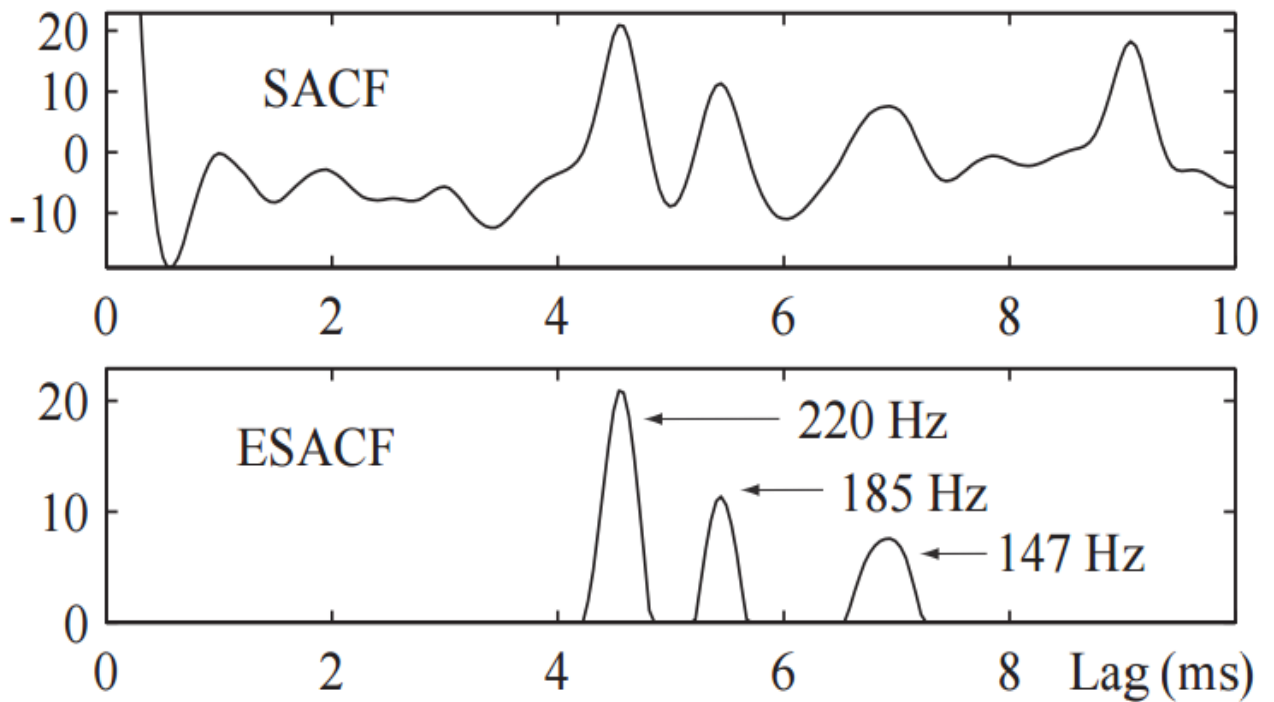


Sl. 2.3. Prikaz pravokutnog impulsa u vremenskoj(lijevo) i frekvencijskoj(desno) domeni

2.3. Tolonenova i Karjalainenova metoda obrade signala

Najjednostavniju računalnu metodu su razvili Tolonen i Karjalainen pri kojoj su signal podijelili na dva područja: od 20 kHz do 1 kHz i od 1 kHz do 10 kHz. Signal se dakle dijeli na visokofrekvencijski i niskofrekvencijski. Zatim se Fourierovom transformacijom prebacuje signal u frekvencijsku domenu gdje se vrši kompresija signala. Takav signal se obrnutom Fourierovom transformacijom vraća u vremensku domenu. Svi dobiveni signali na kraju te autokorelacijske funkcije se zbrajaju.[6]

Dalje dolazi do problema identifikacije signala budući da osnovne frekvencije odgovaraju cjelobrojnom višekratniku osnovnog perioda. Poboljšanje je izvršeno odsijecanjem negativne periode, tako da se vremenska domena pomnoži s dva. Za rezultate se dobije signal s dosta manje izraženim drugim harmonicima. Daljnja poboljšanja su moguća s množenjem drugim faktorima kao što u 3 i 4 kako bi se riješili harmonika tog reda.

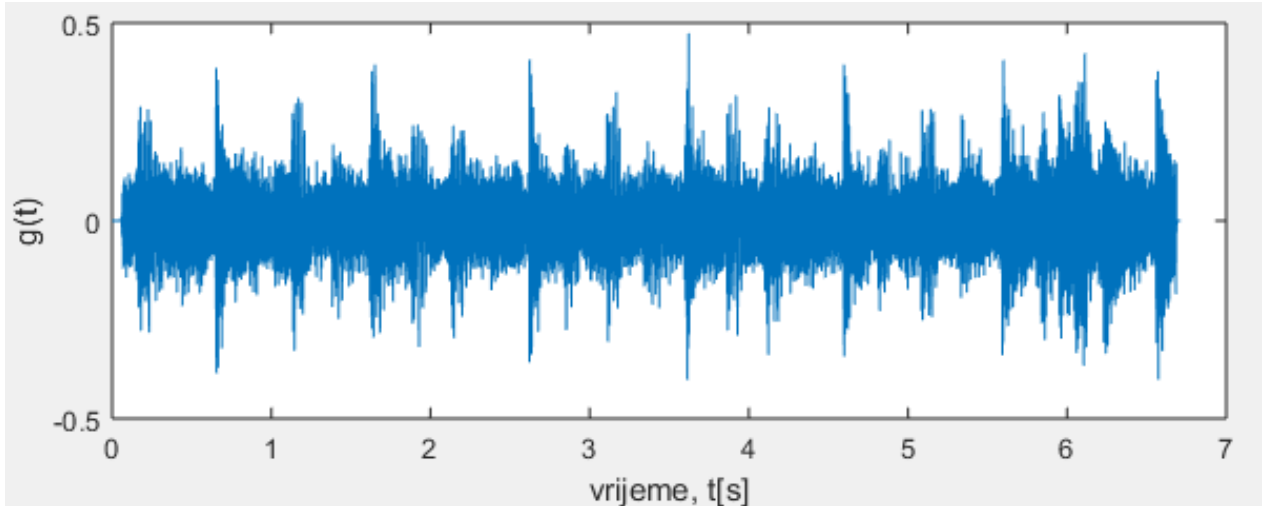


Sl. 2.4. Adicijska autokorelacijska funkcija (gore) i poboljšana adicijska autokorelacijska funkcija (dolje). Izvor:[5]

Poboljšanja su vidljiva na slici 2.4. na kojoj je odsijecanjem negativnih dijelova ostaju samo vrhovi koji nose bitne dijelove informacije. Tim postupkom se ubrzava cijeli proces određivanja količine otkucaja u minuti.

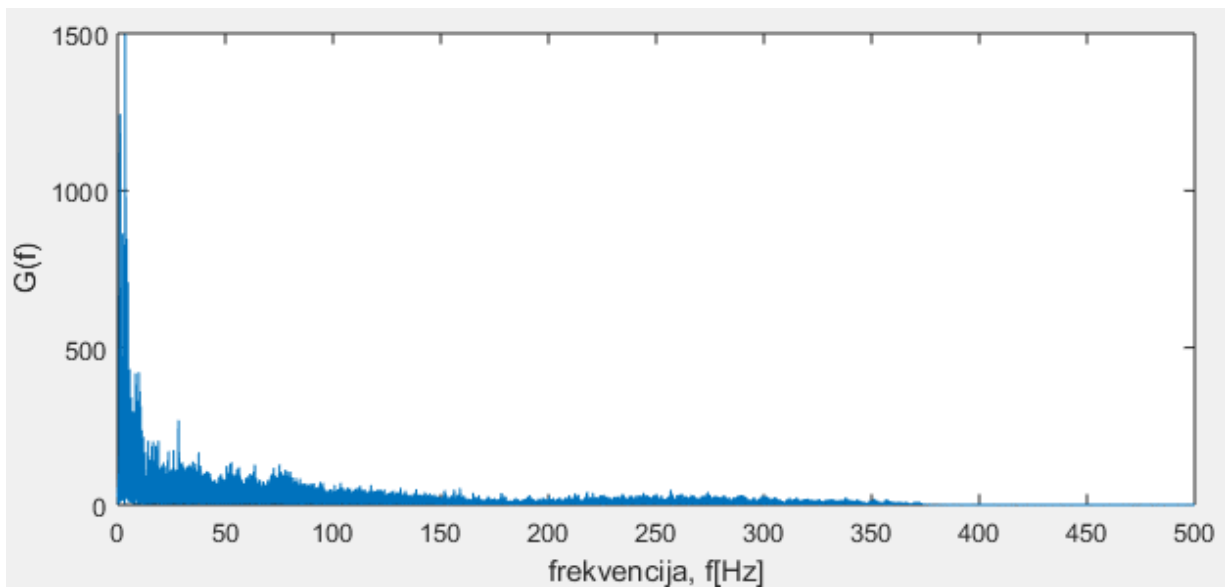
2.4. Scheirerova metoda obrade signala

Scheirer je ponudio poboljšano rješenje sa šest eliptičnih filtara koji se primjenjuju na glazbeni signal u valnom obliku (Sl.2.5.).



Sl. 2.5. Glazbeni signal na ulazu u filtre

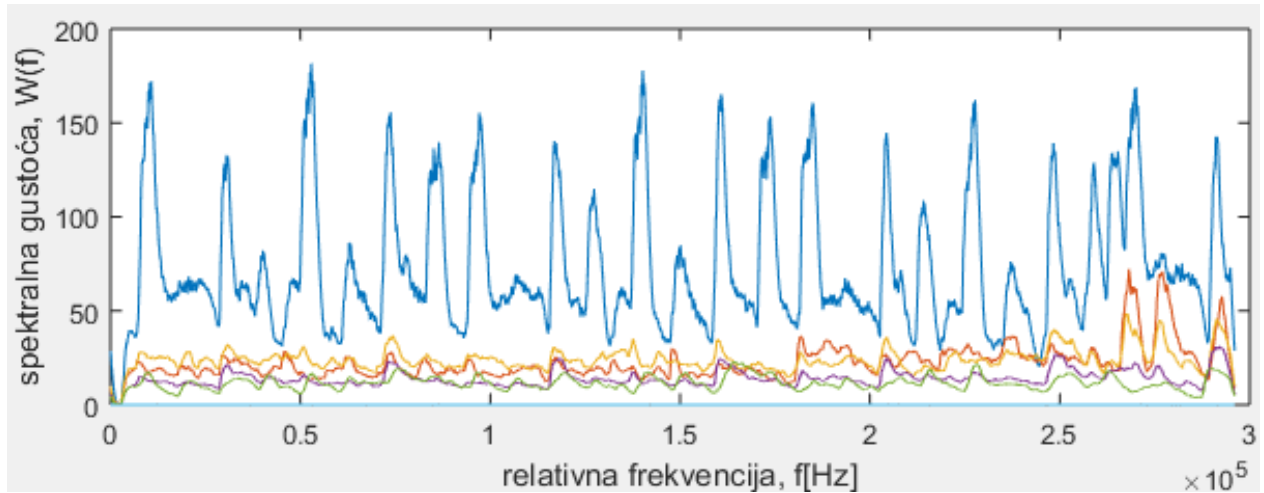
Najniži filtar je niskopropusni do 200 Hz, slijede 4 pojasnopropusna filtra 200 i 400 Hz, 400 i 800 Hz, 800 i 1600 Hz te 1600 i 3200 Hz. Nakon kojih ide visokopropusni filtar za 3200 Hz. Poslije primjene filtara dobiva se 6 glazbenih signala iz kojeg svakog pojedinačno se izvlači ovojnica zvučnog signala. Slika 2.6. je prikaz signala u jednom od filtera.[7]



Sl. 2.6. Glazbeni signal nakon primjene filtra

Nakon toga se signal propušta kroz Hannov prozor koji je opisan jednačbom (2-8).

$$w(n) = 0.5 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) \right) \quad (2-8)$$



Sl. 2.7. Prolazak signala kroz Hannov prozor razdvojen po bojama za pojedini filter

Signal je nakon toga dobro definiran i pomoću autokorelacijske funkcije se jednostavno može odrediti razmak između vrhova ovojnice što će dati rezultate tempa glazbenog signala prema (2-1).[8, 9]

Kod ovakvih metoda se javlja problem određivanja pravog tempa. U Tolonenovoj i Karjalainenovoj metodi su tu bila dva filtra koja su dala za rezultat dva tempa, dok kod Scheirerove metode je bilo 6 filtera što daje još veće dvojbe pri pronalasku pravog tempa.

Za početak se iz razmatranja izbacuje svaki tempo koji je izvan granica od 40 do 220 bpm-a (bit per minute) jer je većina glazbenih zapisa u tom rasponu.

Kod prve metode je izvrsno ako oba filtra daju jednake rezultate, tada je to definitivno i konačan rezultat. Međutim, i kod druge metode se primjenjuje taj postupak, jer ako dva filtra daju jednak rezultat, velika je mogućnost da je to i zaista tempo glazbenog signala.

U slučaju da nema podudaranja za tačniji izračun tempa se uzimaju rezultati na nižim frekvencijama jer su glazbeni signali obično bolje definirani na nižim frekvencijama.[10, 11]

3. REZULTATI

Mjerenje je izvršeno s dvije metode: Scheirerovom metodom (S.M.) i metodom otkucaja (M.O.). Svakom metodom je izmjerena količina bita u minuti nad 16 pjesma po žanru. Žanrova je također obrađeno 16 pri tome su uzeti najistaknutiji glazbeni žanrovi (glazba afričkog podrijetla, glazba azijskog podrijetla, blues, klasična glazba, country, dance/electronic, jazz, latino, pop, r&b, rap i rock) i nekoliko karakterističnih za balkansko područje (domaći pop, domaći rock, folk i izvorna glazba).

3.1. Rezultati mjerenja Scheirerovom metodom

Scheirerova metoda je obrađena u Matlab okruženju. Kako bi Matlab mogao izvršiti potrebne procese nad uzorcima pjesama, te u konačnici odrediti njihov BPM, sam glazbeni signal prije dolaska u program je morao biti obrađen. Obrada se vršila u dva koraka: izrezivanje glazbenog signala te izražavanja glazbenog mp3 signala u glazbeni valni oblik (.wav). Navedeni koraci su izvršeni u besplatnim verzijama online programa: Audio cutter¹ i TwistedWave². Glazbeni signal se morao izrezati na manju duljinu od prosječne duljine pjesme. Matlab dosta lakše obrađuje signale do 7 sekundi. Glazbeni tempo je teoretski moguće odrediti iz signala duljine od samo 2 sekunde. Međutim, praktično se pokazalo da je puno bolji interval od 2.2 s. U namjeri da se nad istim signalom obradi i Scheirerova metoda i metoda otkucaja, uzeti su signali čije se duljine kreću od 6 do 7 sekundi, iz razloga jer je gotovo nemoguće metodom otkucaja odrediti tempo nad samo 2.2 s dugog signala. Računalnom obradom signala, bez obzira na količinu ponavljanja mjerenja je uvijek dobiven jednak rezultat za pojedini glazbeni signal, stoga ponavljanje mjerenja nikada nije bilo potrebno.

U tablici 3.1. je vidljivo koliki je prosječni broj BPM-a i koliki je iznos njegove srednje pogreške. Također je vidljiva i relativna pogreška koja govori da se srednja odstupanja kreću od 1,57% do 7,58% što nije preveliko odstupanje, štoviše u velikoj mjeri je prihvatljivo. Za sveukupnu relativnu pogrešku se može reći kako je odličan rezultat te da je mjerenje uspješno izvedeno.

¹ <http://mp3cut.net/>

² <https://twistedwave.com/online/>

| Glazbeni žanr | Prosječan rezultat BPM za S.M. | Prosječna pogreška za S.M. | Relativna pogreška za S.M. [%] |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Glazba afričkog podrijetla | 110,81 | 6,95 | 6,27 |
| Glazba azijskog podrijetla | 104,94 | 7,95 | 7,58 |
| Blues | 144,44 | 6,87 | 4,76 |
| Klasična glazba | 192,44 | 3,03 | 1,57 |
| Country | 123,56 | 6,43 | 5,20 |
| Dance/electronic | 169,94 | 5,03 | 2,96 |
| Domaći pop | 111,75 | 5,89 | 5,27 |
| Domaći rock | 125,13 | 7,98 | 6,38 |
| Folk | 104,94 | 5,74 | 5,47 |
| Izvorna glazba | 186,06 | 4,12 | 2,21 |
| Jazz | 180,06 | 4,62 | 2,57 |
| Latino | 90,44 | 4,40 | 4,87 |
| Pop | 135,44 | 7,69 | 5,68 |
| R&B | 130,25 | 7,39 | 5,67 |
| Rap | 95,69 | 5,96 | 6,23 |
| Rock | 139,69 | 6,93 | 4,96 |
| Ukupno | 134,10 | 6,06 | 4,85 |

Tab. 3.1. Prosječni i relativni rezultati mjerenja za Scheirerovu metodu

3.2. Rezultati mjerenja metodom otkucaja

Metoda otkucaja izvršena je u online programu Beats Per Minute Calculator and Counter³. Mjerenje je vršeno tako što je u pozadini pušten glazbeni signal, a zatim otkucavan glazbeni tempo. Glazbeni signal je pušten da se vrti u krug te je tipkan svaki put sve dok se broj BPM-a nije ustalio. Ipak u slučajevima velikog rasipanja mjernih rezultata, mjerenje je ponavljano nekoliko puta.

Iz tablice 3.2. se može vidjeti prosječni broj otkucaja za pojedini žanr te koliko prosječno odstupa koji žanr od srednje svoje vrijednosti. Radi bolje uočljivosti odstupanja vidljiva je i relativna pogreška. Relativne pogreške se kreću od 1,55% do 4,83% što su jako male pogreške. Sveukupni rezultat od 3,40% označava odlično mjerenje metodom otkucaja.

³ <http://www.beatsperminuteonline.com/>

| Glazbeni žanr | Prosječan rezultat BPM za M.O. | Prosječna pogreška za M.O. | Relativna pogreška za M.O. [%] |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Glazba afričkog podrijetla | 126,19 | 4,84 | 3,84 |
| Glazba azijskog podrijetla | 103,00 | 4,97 | 4,83 |
| Blues | 95,06 | 3,63 | 3,82 |
| Klasična glazba | 188,19 | 2,92 | 1,55 |
| Country | 117,06 | 3,89 | 3,32 |
| Dance/electronic | 169,31 | 5,09 | 3,01 |
| Domaći pop | 110,75 | 2,50 | 2,26 |
| Domaći rock | 124,31 | 4,15 | 3,34 |
| Folk | 119,64 | 3,80 | 3,18 |
| Izvorna glazba | 118,44 | 3,49 | 2,95 |
| Jazz | 124,69 | 3,56 | 2,86 |
| Latino | 102,19 | 3,31 | 3,24 |
| Pop | 115,19 | 4,11 | 3,57 |
| R&B | 98,19 | 4,03 | 4,10 |
| Rap | 88,75 | 3,87 | 4,36 |
| Rock | 135,69 | 5,67 | 4,18 |
| Ukupno | 121,04 | 3,99 | 3,40 |

Tab. 3.2. Prosječni i relativni rezultati mjerenja za metodu otkucaja

3.3. Usporedni rezultati između mjerenja Scheirerovom metodom i metodom otkucaja

Podudarnost metoda za pojedini žanr je izražena kao relativna točnost R između broja BPM za određeni glazbeni signal. Relativna točnost je računata prema (3-1).

$$R [\%] = \left(1 - \frac{|BPM_{M.O.} - BPM_{S.M.}|}{BPM_{M.O.}} \right) \cdot 100 \quad (3-1)$$

Pri čemu je $BPM_{M.O.}$ broj otkucaja u minuti metodom otkucaja, a $BPM_{S.M.}$ broj otkucaja u minuti Scheirerovom metodom.

Za obradu rezultata je kao točnija, teoretska vrijednost uzeta vrijednost metodom otkucaja iz razloga što Scheirerova metoda na više mjesta ima ogromna, vidna odstupanja. Na primjer kod jako sporih pjesama za rješenje je davala veliki broj otkucaja ili obratno.

Također, gledajući i relativne pogreške od prosječnih odstupanja za pojedinu metodu, metoda otkucaja je za sve žarove osim za dance/electronic dala precizniji rezultat, a i za taj žanr je razlika samo 0,02%.

Ukupna točnost za pojedini žanr izračunata je kao srednja vrijednost relativnih točnosti za pojedine glazbene signale pripadajućeg žanra.

$$A[\%] = \frac{\sum_{i=0}^n R_i}{n} \quad (3-2)$$

Pri čemu je R_i relativna točnost BPM za pojedinu pjesmu, a n broj obrađenih pjesama (u ovom slučaju 16).

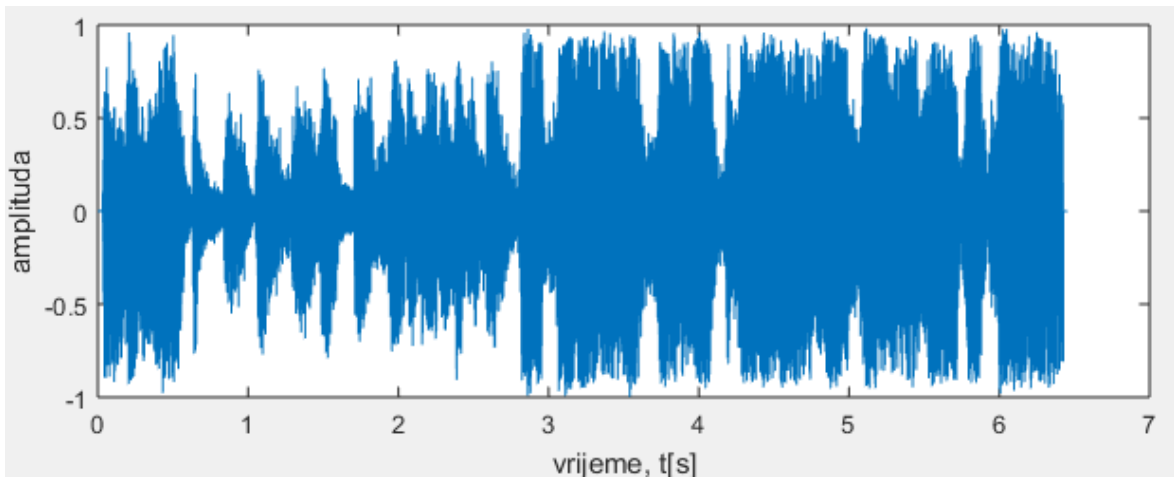
Rezultati točnosti za obrađene žanrove su vidljivi u tablici 3.3.

Po relativnoj točnosti je vidljivo kako podudarnost metode otkucaja i Scheirerove metode ovisi od pojedinog žanra, dok je za neke skoro stopostotan, za neke je tek na pola prosječne vrijednosti.

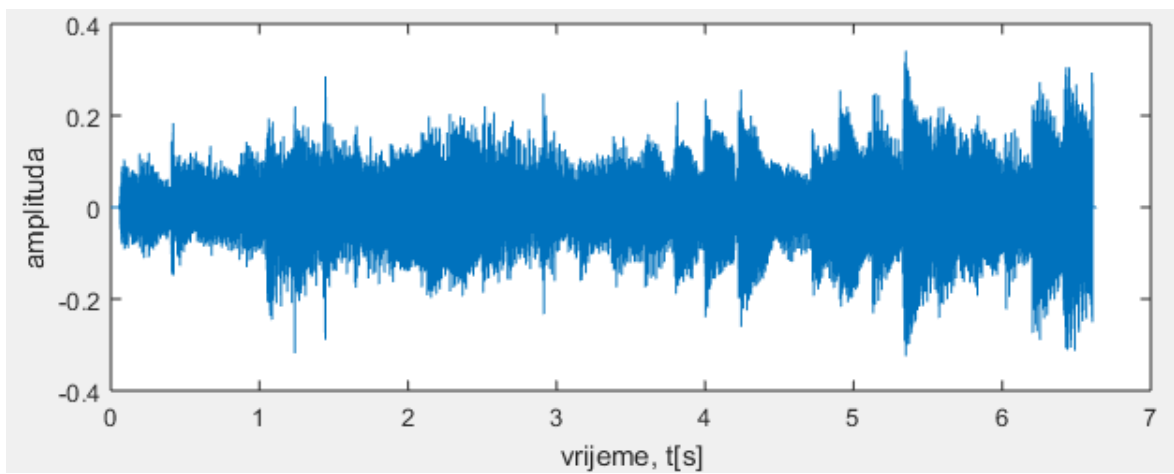
| Glazbeni žanr | Prosječan rezultat BPM | Prosječna pogreška S.M. u odnosu na M.O. | Relativna točnost A [%] |
|----------------------------|------------------------|--|-------------------------|
| Glazba afričkog podrijetla | 118,50 | 33,00 | 73,71 |
| Glazba azijskog podrijetla | 103,97 | 20,19 | 48,89 |
| Blues | 119,75 | 65,38 | 49,62 |
| Klasična glazba | 190,31 | 38,25 | 76,81 |
| Country | 120,31 | 28,38 | 75,60 |
| Dance/electronic | 169,63 | 2,63 | 98,55 |
| Domaći pop | 111,25 | 38,25 | 68,10 |
| Domaći rock | 124,72 | 56,44 | 57,62 |
| Folk | 112,28 | 22,19 | 81,40 |
| Izvorna glazba | 152,25 | 81,37 | 34,83 |
| Jazz | 152,38 | 77,38 | 42,44 |
| Latino | 96,31 | 15,50 | 85,10 |
| Pop | 125,31 | 47,38 | 55,08 |
| R&B | 114,22 | 54,31 | 52,64 |
| Rap | 92,22 | 26,31 | 77,57 |
| Rock | 137,69 | 39,00 | 75,69 |
| Ukupno | 127.57 | 40.69 | 65.85 |

Tab. 3.3. Rezultati podudarnosti Scheirerove metode i metode otkucaja prema žanru

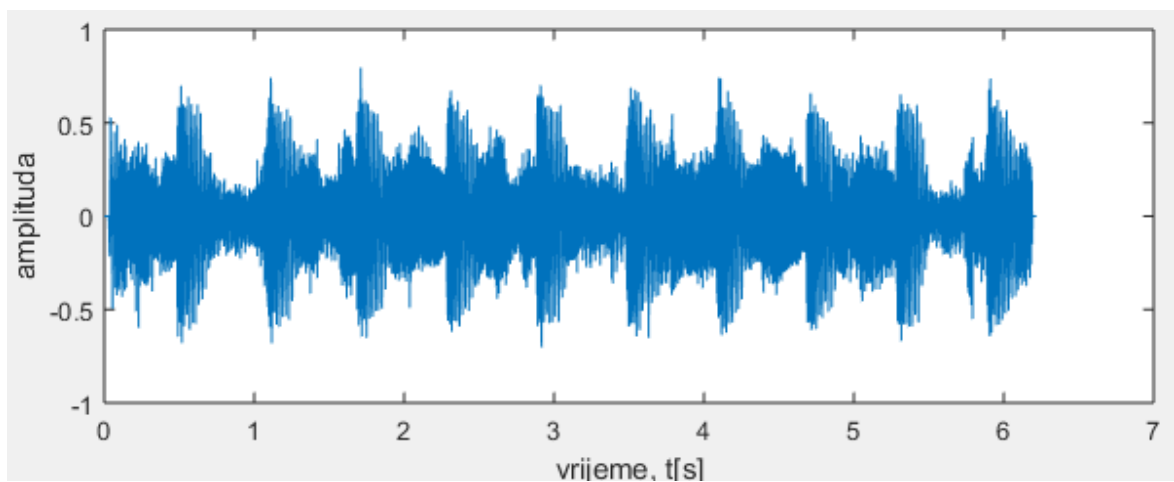
Razlog tih velikih odstupanja je moguće i vidjeti ako se pogledaju samo valni oblici za nekoliko karakterističnih glazbenih signala.



Sl. 3.1. Prikaz valnog signala za izvornu glazbu



Sl. 3.2. Prikaz valnog signala za klasičnu glazbu



Sl. 3.3. Prikaz valnog signala za dance/electronic glazbeni žanr

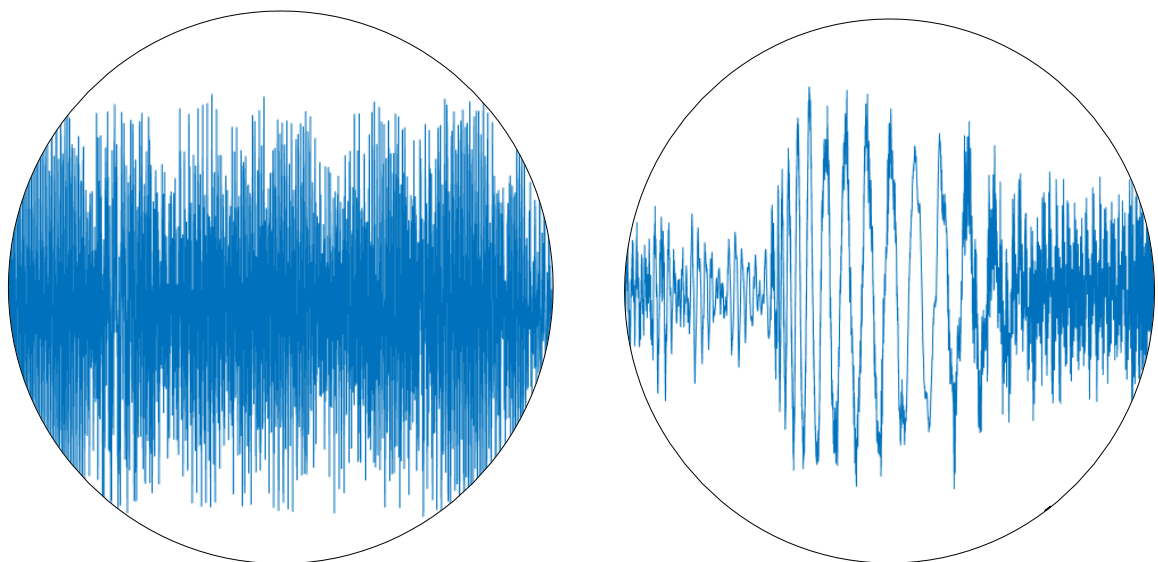
Usporede li se prikazi valnih oblika glazbenog signala sa slika 3.1, 3.2. i 3.3. na prvi pogled su uočljive neke razlike. Za bolju usporedbu je uzet jednak raspon vrijednosti po vremenskoj osi. Tim je spriječeno razvlačenje signala, a samim tim i naizgled njegovo poboljšanje.

Pogled na valni oblik glazbenog signala izvorne glazbe (Sl. 3.1.) ostavlja dojam signala koji na trenutke daje obojeni pravokutnik, zatim promjenu te opet obojeni pravokutnik. Amplituda gotovo tijekom cijelog vremenskog intervala doseže vrijednost blisku 1.

Nasuprot valnom obliku glazbenog signala izvorne glazbe, valni oblik glazbenog signala klasične glazbe (Sl. 3.2.) ima više nego dvostruko manju amplitudu. Također je uočljiva i razlika "manje pravokutnika". Cijela skladba je odsvirana samo na jednom instrumentu što joj daje jasnoću prikazanu u vidu više špicastog signala.

Najveća razlika je vidljiva između valnog oblika glazbenog signala izvorne glazbe te dance/electronic glazbe. Na slici 3.3. se uočljivo vidi rastavljanje signala na niže i više amplitude te njihov relativni kontinuitet i periodičnost. Čak i na klasičnom prikazu dance/electronic signala je vidljiv razmak i između njegovih najbližih vrhova.

Za bolje uočavanje razlika u valnim oblicima je na slici 3.4. prikazan uvećani prikaz dijela signala sa slike 3.1. i sa slike 3.3.



Sl. 3.4. Uvećani prikaz signala sa slike 3.1.(lijevo) i signala sa slike 3.3.(desno)

Primjetno je kako signalu sa slike 3.1. nije pomoglo ni uvećavanje tako što se vremenska os razvukla na samo jednu, umjesto sedam sekundi. Signal je i dalje vrlo zbijen, samo malo manje nego valni oblik glazbenog signala za dance/electronic na intervalu od 7 sekundi.

Dok je na slici 3.4. desno vidljivo uvećanje valnog oblika glazbenog signala dance/electronic na intervalu od jedne sekunde, koji je očita razlika od signala lijevo. Signal je jednoznačniji, u većoj mjeri izgleda kao jedna izlomljena crta. To je jako bitno pri obradi signala. Računalo ima mnogo manju mogućnost pogreške jer je signal jednoznačan te na jednom te istom mjestu neće imati mogućnost biranja od više vrijednosti signala. Zbog tog je računalna obrada ovakvih signala podudarna s metodom otkucaja.

Za računalnu obradu bi bilo pogodno kada bi svi signali bili jednoznačni, ali većina njih gubi tu karakteristiku zbog raznih šumova pri nastanku istog. Šum bi se mogao odstraniti poznatim metodama za uklanjanje šuma iz govornih i akustičnih signala koje razdvajaju šum od akustičnog dijela, jeke i samog glasa.

Takve metode se najčešće upotrebljavaju za lakše razumijevanje glasa iz loših snimaka kao što su na primjer avionske nesreće i ratovi, ali bi se mogle upotrijebiti i u ovom slučaju, samo što bi se važnost davala akustičnom dijelu, a ostali dijelovi bi se zanemarili.

Metode za pročišćavanje signala nisu tako jednostavne i kratkotrajne, a kako se u ovom slučaju radi o dosta mjerenja i dosta čestim mjerenjima od strana osoba kojima su potrebni rezultati, takvi koraci se preskaču te se za dovoljnu pouzdanost uzima onoliko koliko daje program i ljudsko uho.

4. ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada je na što vjerodostojniji način odrediti koliko bita u minuti (BPM) ima u pojedinoj glazbi. Kako bi se pridonijelo pronalasku što točnijeg tempa izvršeno je istraživanje s dvije različite metode: metodom tipkanja i Scheirerovom metodom.

Metoda tipkanja je najjednostavnija, ima prost kod, jednostavna je za razumjeti i isprogramirati, ali pri radu tog koda je potrebno da osoba sluša glazbu te kuca tempo. To dovodi do upitnosti metode o tome tko kuca tempo jer nisu sve osobe jednako muzikalne. Glazbeno obrazovaniya osoba će za ovu metodu svakako dati bolje rezultate, nego glazbeno nepismena osoba.

U pokušaju izbjegavanja potrebe za muzikalnošću osobe urađene su metode za koje se unosom glazbenog signala u valnom obliku u program može odrediti količina BPM.

Scheirer je osmislio metodu s šest eliptičnih filtara koji daju računalne rezultate bez obzira na izvođača pokusa, ali samim tim je kompliciranija izvedba, kompliciraniji je kod, kompliciranije je mjerenje te odlučivanje ispravnog tempa na samom kraju.

Zavisno od potreba, mogućnosti korisnika te važnosti točnosti rezultata mogu se upotrebljavati obje metode. Scheirerova metoda je praktična kod glazbenih signala koji pripadaju modernoj glazbi jer je njen tempo najčešće određen basom ili udaraljka.

Najveći problemi Scheirerove metode su određivanje tempa koji nije određen samo jednim instrumentom, u najgorem slučaju kada je određen nekim instrumentom i bubnjem. Program tada ne detektira pravilan tempo nego samo bubnjeve. Pogreške se pojavljuju također i suprotno, tj. da metoda prepoznaje preveliki neistiniti tempo. Takvo što se najviše događalo kod jazz i izvorne glazbe gdje tempo određuje nekoliko instrumenata koji sviraju istovjetni tempo, ali budući da nije idealno vrijeme "istovremenog" sviranja program detektira 2, 3 ili više puta uvećan tempo, za svaki instrument po jedan put više. Kod glazbe čiji su snimci iz ranijih doba dok je snimana i velika količina šumova, a nikada nisu ponovno snimljeni također dolazi do pogreške zbog nejasnoće signala, izmjene amplitude, a na velikom dijelu i neprepoznatljivosti oblika signala uopće.

Proces izbjegavanja navedenih pogrešaka je najjednostavniji ako se za obradu uzmu samo instrumentalne verzije istih pjesama, u najboljem slučaju odsvirane na jednom instrumentu, Scheirerova metoda tada ima neznatne greške, koje se mogu zanemariti.

Broj otkucaja u minuti je najčešće potreban DJ-evima pri kombiniranju dvije vrste glazbenog signala kako bi dobili neki inovativni i zabavniji zvuk. Isto tako je poznato da se uglavnom bave dance/electronic glazbom, onda je Scheirerova metoda sasvim pogodna.

U slučajevima kada je ipak potrebno ukomponirati i neki klasičniji i stariji žanr u nešto noviji signal, preporučuje se metoda otkucaja. Metoda otkucaja u tom je slučaju bolja jer su to signali koji su nastali čisto analognim putem, dakle ljudskim glasom i sviranjem instrumenta, a i detektor tog signala je analogan (ljudsko uho). Dok za glazbu koja velikim dijelom nastaje radom računala, tj. kao digitalni signal, su upotrebljive obje metode.

LITERATURA

[1] J. Tomac Jovanović, "*Rizično ponašanje i izloženost buci među adolescentima*", Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Zagreb, 2015.

Dostupno na linku:

<https://zir.nsk.hr/islandora/object/mef:648> (pristup ostvaren 24.05.2017.)

[2] T. Herberger, T. Tost, G. Flemming, "*System and method of BPM determination*", Magix Entertainment Products, Gmbh, 2003.

Dostupno na linku:

<https://www.google.com/patents/US6518492> (pristup ostvaren 23.06.2017.)

[3] Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, "*Fourierova transformacija*"

Dostupno na linku:

https://www.fer.unizg.hr/download/repository/3_fourierova_transformacija.pdf

(pristup ostvaren 01.05.2017.)

[4] Wikipedia, "*Fourier series*"

Dostupno na linku:

https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_series (pristup ostvaren 31.07.2017.)

[5] S. Bilbao, "*Numerical sound synthesis*", Wiley, 2009.

[6] M. Karjalainen, T. Tolonen, "*Multi-pitch and periodicity analysis model for sound separation and auditory scene analysis*", Helsinki University of Technology, Laboratory of Acoustics and Audio Signal Processing, 2015.

Dostupno na linku:

<https://www.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/KarjT99-pitch.pdf> (pristup ostvaren 24.05.2017.)

[7] F. Gouyon, A. Klapuri, S. Dixon, M. Alonso, G. Tzanetakis, C. Uhle, "*An experimental comparison of audio tempo induction algorithms*", International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR 2004.), University Pompeu Fabra, Barcelona, Spain, 2004.

Dostupno na linku:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.92.8210&rep=rep1&type=pdf>

(pristup ostvaren 26.05.2017.)

[8] F. Gouyon, A. Klapuri, S. Dixon, M. Alonso, G. Tzanetakis, C. Uhle, P. Cano, "*An Experimental Comparison of Audio Tempo Induction Algorithms*", International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR 2004), University Pompeu Fabra, Barcelona, Spain, 2004.

Dostupno na linku:

<http://www.cs.tut.fi/sgn/arg/klap/gouyon-taslp-2006.pdf> (pristup ostvaren 24.05.2017.)

[9] A. P. Klapuri, A. J. Eronen, J. T. Astola, "*Analysis of the meter of acoustic musical signals*", IEEE Trans. Speech and Audio Proc., 2004.

Dostupno na linku:

<http://www.cs.tut.fi/sgn/arg/klap/sapmeter.pdf> (pristup ostvaren 15.08.2017.)

[10] O. Lartillot, P. Toivainen, "*A Matlab Toolbox for Musical Feature Extraction From Audio*", International Conference on Digital Audio Effects, Bordeaux, 2007.

Dostupno na linku:

<https://www.jyu.fi/hytk/fi/laitokset/mutku/en/research/materials/mirtoolbox/MIRtoolbox1.5Guide> (pristup ostvaren 15.08.2017.)

[11] K. Cheng, B. Nazer, J. Uppuluri, R. Verret, "*A beat synchronization*"

Dostupno na linku:

https://www.clear.rice.edu/elec301/Projects01/beat_sync/beatalgo.html

(pristup ostvaren 26.06.2017.)

SAŽETAK

U ovom radu objašnjeno je kako se Fourierovom transformacijom i autokorelacijskom funkcijom mogu obrađivati glazbeni signali. Pritom je cilj odrediti glazbeni tempo iz signala pomoću udaljenosti između dva susjedna vrha u glazbenom signalu. Obradene metode daju rezultate o tempu preko različitih vrsta i količina filtra. Rezultati su ovisni o metodi i vrsti signala, a u mjerenju se upotrijebilo 16 različitih glazbenih žanrova. Mjerenja se vrše računalnom obradom signala dijelom u online izvedbama, a većim dijelom u programu Matlab. Metode koje su korištene u usporednim mjerenjima su metoda otkucaja i Scheirerova metoda.

Ključne riječi: tempo, bpm, glazbeni signal, Fourier, metoda, otkucaja, Tolonen, Karjalainen, Scheirer

ABSTRACT

TEMPO AND BEAT ESTIMATION OF MUSICAL SIGNALS

This paper explains how Fourier's transformation and autocorrelation function can process musical signals. The purpose is to define the musical pitch of the signal by the distance between the two neighboring peaks in the musical signal. The methods used give tempo results across different types and quantities of filters. Results depend on the method and type of signal and in measurements are used 16 different music genres. Measurements are performed by computer processing of the signal partly in online performances and mostly in Matlab. The methods used in comparative measurements are the tap method and Scheirer's method.

Key words: tempo, bpm, musical signal, Fourier, tap, method, Tolonen, Karjalainen, Scheirer

POPIS I OPIS UPOTRIJEBLJENIH KRATICA

A[%] – prosječna relativna točnost

BPM – broj otkucaja u minuti

DC komponenta – istosmjerna komponenta

DJ – (*eng. deejay*) – osoba koja kombinira najčešće dva glazbena signala, obično služeći se glazbenim pločama)

F.t. – Fourierova transformacija

M.O. – metoda otkucaja

R[%] – relativna točnost

R&B – glazbeni žanr ritam i blues

S.M. – Scheirerova metoda

ŽIVOTOPIS

Irena Mostarac rođena je 25.08.1995. u Žepču, Bosna i Hercegovina. Osnovnu školu započinje 2002. godine u osnovnoj školi "Vinište", a završava 2010. u osnovnoj školi "Žepče". Nakon osnovne škole upisuje Tehničare za mehatroniku u srednjoškolskom centru "KŠC Don Bosco" Žepče. Po završetku srednje škole, 2014. godine upisuje "Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija" u Osijeku, odabire preddiplomski studij elektrotehnike, a nakon godinu dana se usmjerava na komunikacije i informatiku.

Potpis:

PRILOG – DETALJNI REZULTATI MJERENJA

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|---|-------------|-------------|----------|
| Ali Farka Toure-Diaraby | 180 | 189 | 95,24 |
| Amadou & Mariam - Se-ne-gal Fast Food | 62 | 170 | 36,47 |
| Aster aweke- Mezez Alew | 82 | 158 | 51,90 |
| Fela Kuti - Sorrow, Tears and Blood | 74 | 105 | 70,48 |
| Femi Kuti - If Them Want To Hear | 182 | 194 | 93,81 |
| Prince Nico Mbarga -Sweet Mother | 91 | 89 | 97,75 |
| Fula Flute Kaira | 230 | 225 | 97,78 |
| Habib Koite - Batoumambe | 82 | 109 | 75,23 |
| Jah Bouks - Angola | 62 | 83 | 74,70 |
| Kanté Manfila et Salif Keïta - Tara | 117 | 115 | 98,26 |
| Mory Kanté - Yeke Yeke | 94 | 87 | 91,95 |
| Kankou - Nene Koita | 61 | 105 | 58,10 |
| Thione Seck - Raam Daan - Mathiou | 82 | 96 | 85,42 |
| Vieux Farka Touré - Ana | 230 | 105 | 0,00 |
| African music - Why | 77 | 96 | 80,21 |
| Youssou Ndour et le Super Etoile - Moor Ndaje | 67 | 93 | 72,04 |

Tab. P1.1. Rezultati za glazba afričkog podrijetla

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|--|-------------|-------------|----------|
| Amrit Maan, Jasmine Sandlas, DJ Flow - Bamb Jatt | 216 | 135 | 40,00 |
| Jab Harry - Beech Beech | 230 | 221 | 43,44 |
| Enna Sona, Controlla, Satvik B - Bollywood | 61 | 73 | 0,00 |
| Mustafa & Kiara Advani - Cheez Badi | 74 | 85 | 0,00 |
| Deep Sukh ft. the Boss - Dial | 69 | 92 | 83,70 |
| Mankirt Aulakh Feat Deep Kahlon - Gangland | 67 | 63 | 0,00 |
| Guru Randhawa- High Rated Gabru | 69 | 93 | 87,10 |
| Parmish Verma - Hostel | 68 | 85 | 91,76 |
| Goldboy, Nirmaan - Yhooth | 79 | 80 | 91,25 |
| Diljit Dosanjh - Laembadgini | 67 | 78 | 91,03 |
| Mani Chuhan- Aakad | 62 | 69 | 0,00 |
| Pehli Nazar - Mere Rashke Qamar | 193 | 110 | 88,18 |
| Azhar – Oye Oye | 198 | 202 | 85,64 |
| Ammy Virk - Qismat | 69 | 89 | 0,00 |
| Jab Harry- Radha | 91 | 101 | 80,2 |
| Sharry Mann, Mista Baaz - Saade Aala | 66 | 72 | 0,00 |

Tab. P1.2. Rezultati za glazbu azijskog podrijetla

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|--|-------------|-------------|----------|
| Albert King - Born Under A Bad Sign | 70 | 88 | 79,55 |
| Albert King - Crosscut Saw | 96 | 120 | 80,00 |
| B.B. King - The Thrill Is Gone | 231 | 88 | 0,00 |
| B.B. King- Everyday I have the Blues | 234 | 101 | 0,00 |
| Blues Brothers - Sweet Home Chicago | 77 | 90 | 85,56 |
| Bobby's Stormy Monday | 193 | 58 | 0,00 |
| Buddy Guy - Five Long Years | 81 | 79 | 97,47 |
| Derek & the Dominos - Key to the Highway | 92 | 75 | 77,33 |
| Donnie Ray - Rock Me Baby | 73 | 93 | 78,49 |
| Freddie King - Hideaway | 71 | 82 | 86,59 |
| Freddie King - I Just Want To Make Love to You | 182 | 65 | 0,00 |
| Gary B.B. Coleman - The Sky is Crying | 123 | 112 | 90,18 |
| Howlin Wolf - Spoonful | 231 | 120 | 7,50 |
| I'm Your Hoochie Coochie Man - Muddy Waters | 207 | 127 | 37,01 |
| Joe Bonamassa - Reconsider Baby | 121 | 163 | 74,23 |
| John Lee Hooker - Boom Boom | 229 | 60 | 0,00 |

Tab. P1.3. Rezultati za blues

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|---|-------------|-------------|--------|
| Beethoven - Egmont Overture | 218 | 190 | 85,26 |
| Beethoven-Fur Elise | 230 | 226 | 98,23 |
| Beethoven - Symphony No. 5 | 206 | 209 | 98,56 |
| Bizet - Carmen Suite No.1 | 205 | 135 | 48,15 |
| Cajkovski- Swan lake | 174 | 175 | 99,43 |
| Carl Orff - O Fortuna - Carmina Burana | 218 | 181 | 79,56 |
| Chopin - Nocturne op.9 No.2 - Andante | 230 | 208 | 89,42 |
| Richard Wagner - Ride of the Valkyries | 208 | 208 | 100,00 |
| Edvard Grieg - Peer Gynt Suite No.1 | 217 | 237 | 91,56 |
| Gioachino Rossini - The Barber Of Seville - Overture | 220 | 220 | 100,00 |
| Gustav Holst - Jupiter from 'The Planets' | 93 | 168 | 55,36 |
| Händel Messiah - Hallelujah Chorus | 129 | 146 | 88,36 |
| Johann Sebastian Bach - Orchestral Suite No. 3 | 236 | 57 | 0,00 |
| Mozart - Piano Sonata No. 11 in a major | 220 | 230 | 95,65 |
| Offenbach - Barcarolle , from 'The Tales of Hoffmann' | 180 | 181 | 99,45 |
| Vivaldi - Autumn from 'The Four Seasons' | 95 | 240 | 78,48 |

Tab. P1.4. Rezultati za klasičnu glazbu

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|--|---------------------|---------------------|--------------|
| Billy Currington - Do I Make You Wanna | 74 | 83 | 89,16 |
| Blake Shelton - Every Time I Hear That Song | 137 | 155 | 88,39 |
| Brett Young - In Case You Didn't Know | 216 | 176 | 77,27 |
| Brothers Osborne - It Ain't My Fault | 92 | 118 | 77,97 |
| Chris Lane - For Her | 172 | 179 | 96,09 |
| Cole Swindell - Flatliner feat. Dierks Bentley | 156 | 118 | 67,80 |
| Dustin Lynch - Small Town Boy | 230 | 135 | 29,63 |
| Dylan Scott - My Girl | 145 | 166 | 87,35 |
| Jason Aldean - They Don't Know | 64 | 85 | 75,29 |
| Jon Pardi - Heartache On The Dance Floor | 88 | 115 | 76,52 |
| Justin Moore - Somebody Else Will | 68 | 73 | 93,15 |
| Kane Brown - What Ifs ft. Lauren Alaina | 109 | 112 | 97,32 |
| Keith Urban - The Fighter ft. Carrie Underwood | 98 | 108 | 90,74 |
| Lady Antebellum - You Look Good | 60 | 71 | 84,51 |
| Luke Combs - Hurricane | 62 | 79 | 78,48 |
| Midland - Drinkin' Problem | 206 | 100 | 0,00 |

Tab. P1.5. Rezultati za country

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|--|---------------------|---------------------|--------------|
| Axwell - Ingrosso - More Than You Know | 240 | 243 | 98,77 |
| Calvin Harris – Feels ft. P.Williams, K.Perry, Big Sean | 183 | 188 | 97,34 |
| Calvin Harris - Rollin ft. Future, Khalid | 231 | 233 | 99,14 |
| Calvin Harris - Slide ft. Frank Ocean, Migos | 83 | 83 | 100,00 |
| Cheat Codes - No Promises ft. Demi Lovato | 86 | 84 | 97,62 |
| Clean Bandit - Rockabye ft. Sean Paul & Anne-Marie | 239 | 234 | 97,86 |
| Clean Bandit - Symphony feat. Zara Larsson | 144 | 142 | 98,59 |
| David Guetta ft Justin Bieber - 2U | 115 | 116 | 99,14 |
| DJ Snake ft. Justin Bieber - Let Me Love You | 217 | 214 | 98,60 |
| Jonas Blue - Mama ft. William Singe | 230 | 229 | 99,56 |
| Katy Perry - Swish Swish) ft. Nicki Minaj | 163 | 158 | 96,84 |
| Kygo, Selena Gomez - It Ain't Me | 216 | 220 | 98,18 |
| Major Lazer - Know No Better ft. T. Scott, C. Cabello, Quavo | 231 | 224 | 96,88 |
| Martin Garrix - Scared To Be Lonely feat. Dua Lipa | 103 | 103 | 100,00 |
| Martin Garrix & Troye Sivan - There For You | 102 | 103 | 99,03 |
| The Chainsmokers - Closer ft. Halsey | 136 | 135 | 99,26 |

Tab. P1.6. Rezultati za dance/electronic

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|--|-------------|-------------|--------|
| Colonia - Plamen od ljubavi | 91 | 121 | 75,21 |
| Dino Merlin - Sve do medalje | 193 | 81 | 0,00 |
| Erato & Jacques Houdek - Putujemo snovima | 162 | 108 | 50,00 |
| Hari Mata Hari - Da ti k'o čovjek oprostim | 81 | 99 | 81,82 |
| Jacques Houdek – Zauvijek tvoj | 85 | 109 | 77,98 |
| Jasmin Stavros & Učiteljice - Nema natrag | 216 | 125 | 27,20 |
| Jole - Kada Žene Tulumare | 97 | 132 | 73,48 |
| Mejaši – Zavela me Ana | 60 | 158 | 37,97 |
| Poslednja Igra Leptira - Nataša | 102 | 103 | 99,03 |
| S.A.R.S. - Lutka | 93 | 85 | 90,59 |
| Toni Cetinski - Jednom u zivotu | 77 | 93 | 82,80 |
| Toni Cetinski - Zena nad ženama | 205 | 156 | 68,59 |
| Valentino - Mirise Mi Mirise | 74 | 110 | 67,27 |
| Zdravko Colic - Mjerkam te, mjerkam | 68 | 84 | 80,95 |
| Željko & Daniel – Skoplje Beograd | 79 | 103 | 76,70 |
| Željko Samardži- - Nije moje da znam | 105 | 105 | 100,00 |

Tab. P1.7. Rezultati za domaći pop

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|--|-------------|-------------|--------|
| Alisa - Kesten | 97 | 116 | 83,62 |
| Azra - Voljela me nije nijedna | 212 | 177 | 80,23 |
| Bijelo dugme - Na zadnjem sjedištu moga auta | 90 | 120 | 75,00 |
| Divlje Jagode - Samo da znaš | 205 | 72 | 0,00 |
| Ekatarina Velika - Par godina za nas | 205 | 96 | 0,00 |
| Kerber - Ratne igre | 88 | 94 | 93,62 |
| Neki To Vole Vruće - California | 185 | 169 | 90,53 |
| Opća opasnost - Treba mi nešto jače od sna | 63 | 181 | 34,81 |
| Osvajači - Gde da pobegnem | 69 | 189 | 36,51 |
| Parni Valjak - Sve jos miriše na nju | 163 | 115 | 58,26 |
| Prljavo kazalište - Tu noć kad si se udavala | 68 | 68 | 100,00 |
| Riblja Čorba - Jedino moje | 62 | 92 | 67,39 |
| Smak - Daire | 77 | 109 | 70,64 |
| Viktorija - Rat I Mir | 13 | 103 | 12,62 |
| Zabranjeno Pušenje - Karabaja | 204 | 144 | 58,33 |
| Željko Bebek - Mene tjera neki vrag | 201 | 144 | 60,42 |

Tab. P1.8. Rezultati za domaći rock

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O | R [%] |
|---|-------------|------------|--------|
| Mile Kitić - Luda devojko | 204 | 168 | 78,57 |
| Aco Pejović - Jelena | 181 | 157 | 84,71 |
| Ana Nikolić - Mišo moj | 102 | 121 | 84,30 |
| Ceca-Tačno je | 68 | 85 | 80,00 |
| Dejan Matić - Bitanga i dama | 77 | 95 | 81,05 |
| Ivana Selakov - Grad grad | 93 | 112 | 83,04 |
| Jelena Rozga - Dobitna kombinacija | 105 | 108 | 97,22 |
| Mia Borisavljević - Luda glava | 61 | 161 | 37,89 |
| Mia Borisavljević - Gruva gruva | 92 | 119 | 77,31 |
| Milan Mitrović - Raspad sistema | 76 | 94 | 80,85 |
| Milan Dinčić Dinča ft. Olja Bajrami - Promaja u glavi | 153 | 153 | 100,00 |
| Milica Todorović - Tri čaše | 183 | 185 | 98,92 |
| Ministarke feat Aco Pejovic - Poplava | 78 | 96 | 81,25 |
| Nedeljko Bajić Baja - Od Ljubavi Jače | 60 | 79 | 75,95 |
| Ok band - Najbolje žene | 74 | 90 | 82,22 |
| Rada Manojlović - Nije meni | 72 | 91 | 79,12 |

Tab. P1.9. Rezultati za folk

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|---|-------------|-------------|-------|
| Bekrije - Garavušo garava | 230 | 163 | 58,9 |
| Braća Begić - Tebi pjevam Posavino mila | 223 | 110 | 0,00 |
| Braca Geljić - Kad Se Sjetim Starih Običaja | 96 | 130 | 73,85 |
| Braca Geljić - Zet Nasljednik | 204 | 124 | 35,48 |
| Gazde - Ja pijem da zaboravim | 230 | 181 | 72,93 |
| Gazde - Još i danas zamiriše trešnja | 230 | 124 | 14,52 |
| Miroslav Škoro - Da Sam Im'o Šaku Dukata | 223 | 87 | 0,00 |
| Miroslav Škoro - Kuća na kraju sela | 221 | 97 | 0,00 |
| Miroslav Škoro - Ne dirajte mi ravnice | 181 | 89 | 0,00 |
| Miroslav Škoro - Juliska | 60 | 136 | 44,12 |
| Miroslav Škoro - Konji bili, konji vrani | 229 | 89 | 0,00 |
| Miroslav Škoro - Mata | 224 | 115 | 5,22 |
| Miroslav Škoro - Otvor ženo kapiju | 104 | 102 | 98,04 |
| Klapa Cambi - Ne more mi bit | 193 | 82 | 0,00 |
| Bistri izvor - Selo moje sve me tebi zove | 223 | 178 | 74,72 |
| Slavonske lole - Duša bečarska | 106 | 88 | 79,55 |

Tab. P1.10. Rezultati za izvornu glazbu

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M | BPM M.O | R [%] |
|--|------------|------------|----------|
| All Blues- Miles Davis | 223 | 143 | 44,06 |
| Billie Holiday - Body And Soul | 211 | 58 | 0,00 |
| Billie Holiday - Strange Fruit | 121 | 122 | 99,18 |
| Charles Mingus - Goodbye Pork Pie Hat | 66 | 64 | 96,88 |
| Dave Brubeck - Take Five | 68 | 138 | 49,28 |
| Duke Ellington - Satin Doll | 240 | 130 | 15,38 |
| Duke Ellington - Take the 'a' train | 65 | 170 | 38,24 |
| Ella Fitzgerald - How High The Moon | 203 | 128 | 41,41 |
| Eric Clapton -Autumn Leaves | 205 | 83 | 0,00 |
| Frank Sinatra - My Funny Valentine | 217 | 100 | 0,00 |
| Frank Sinatra Fly Me To The Moon | 164 | 120 | 63,33 |
| Duke Ellington and John Coltrane - In a Sentimental Mood | 217 | 144 | 49,31 |
| Bobby Darin - Mack the Knife | 216 | 188 | 85,11 |
| Miles Davis - Freddie Freeloader | 234 | 132 | 22,73 |
| Miles Davis - On Green Dolphin Street | 235 | 171 | 62,57 |
| Duke Ellington - Mood Indigo | 196 | 104 | 11,54 |

Tab. P1.11. Rezultati za jazz

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O | R [%] |
|---|-------------|------------|--------|
| Chris Jeday - Ahora Dice ft. J. Balvin, Ozuna, Arcángel | 193 | 190 | 98,42 |
| CNCO - Hey DJ | 66 | 77 | 85,71 |
| Conor Maynard, Anth - Mi Gente | 78 | 79 | 98,73 |
| Danny Ocean - Me Rehúso | 86 | 93 | 92,47 |
| El Amante - Nicky Jam | 67 | 77 | 87,01 |
| Enrique Iglesias - Subeme la Radio ft. D. Bueno, Zion, Lennox | 122 | 126 | 96,83 |
| J. Balvin - Si Tu Novio Te Deja Sola ft. Bad Bunny | 142 | 123 | 84,55 |
| J. Balvin - Sigo Extrañándote | 69 | 91 | 75,82 |
| Karol G, Bad Bunny - Ahora Me Llama | 91 | 83 | 90,36 |
| Daddy Yankee ft Ozuna - La Rompe Corazones | 65 | 85 | 76,47 |
| Luis Fonsi - Despacito ft. Daddy Yankee | 66 | 93 | 70,97 |
| Maluma - Felices los 4 | 70 | 85 | 82,35 |
| Mayores - Becky G ft. Bad Bunny | 72 | 97 | 74,23 |
| Nacho - Bailame | 71 | 95 | 74,74 |
| Prince Royce, Shakira - Deja vu | 86 | 118 | 72,88 |
| Romeo Santos - Imitadora | 103 | 123 | 100,00 |

Tab. P1.12. Rezultati za latino glazbu

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|--|-------------|-------------|----------|
| Adele - Hello | 192 | 64 | 0,00 |
| Britney Spears - Baby One More Time | 240 | 112 | 0,00 |
| Charlie Puth - Attention | 60 | 92 | 65,22 |
| Ed Sheeran - Shape of You | 72 | 87 | 82,76 |
| Justin Bieber - Sorry | 73 | 100 | 73,00 |
| Katy Perry - Dark Horse ft. Juicy J | 216 | 133 | 37,59 |
| Liam Payne - Strip That Down ft. Quavo | 228 | 207 | 89,86 |
| Mark Ronson - Uptown Funk ft. Bruno Mars | 83 | 117 | 70,94 |
| Michael Jackson - Billie Jean | 173 | 131 | 67,94 |
| OMI - Cheerleader | 91 | 118 | 77,12 |
| Pharrell Williams - Happy | 60 | 75 | 80,00 |
| Rihanna - We Found Love ft. Calvin Harris | 216 | 213 | 98,59 |
| Shawn Mendes - There's Nothing Holdin' Me Back | 91 | 124 | 73,39 |
| Sia - Cheap Thrills ft. Sean Paul | 67 | 87 | 77,01 |
| Taylor Swift - Wildest Dreams | 101 | 115 | 87,83 |
| Whitney Houston - I Will Always Love You | 204 | 68 | 0,00 |

Tab. P1.13. Rezultati za pop

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O. | R [%] |
|---|-------------|-------------|----------|
| Adina Howard - Freak Like Me | 99 | 96 | 96,88 |
| Blackstreet - No Diggity ft. Dr. Dre, Queen Pen | 235 | 90 | 0,00 |
| Blue - U Make Me Wanna | 60 | 76 | 78,95 |
| Boyz II Men - End Of The Road | 182 | 126 | 55,56 |
| Boyz II Men - Motownphilly | 86 | 62 | 61,29 |
| Color Me Badd - I Wanna Sex You Up | 76 | 97 | 78,35 |
| Destiny's Child - Say My Name | 122 | 69 | 23,19 |
| Donell Jones - U Know What's Up | 80 | 90 | 88,19 |
| Easton Corbin - Let's Ride | 204 | 135 | 48,89 |
| Ginuwine - Pony | 240 | 147 | 36,73 |
| K-Ci & JoJo - All My Life | 95 | 96 | 98,96 |
| Montell Jordan - This Is How We Do It | 240 | 108 | 0,00 |
| R. Kelly-Bump 'n' Grind | 162 | 65 | 0,00 |
| Redbone Childish Gambino | 62 | 88 | 70,45 |
| Rome-Real Love | 72 | 53 | 64,15 |
| Shanice - I Love Your Smile | 69 | 173 | 39,88 |

Tab. P1.14. Rezultati za R&B

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M. | BPM M.O | R [%] |
|--|-------------|------------|--------|
| 2Pac - Dear Mama | 176 | 91 | 6,59 |
| 2pac feat Dr.Dre - California Love | 70 | 131 | 53,44 |
| 50 Cent - In Da Club | 71 | 71 | 100,00 |
| Lil Wayne - Around The Way Girl | 73 | 70 | 95,71 |
| Black Sheep - The Choice Is Yours | 76 | 87 | 87,36 |
| Bone Thugs N Harmony – Crossroads | 83 | 74 | 87,84 |
| Dr. Dre - Still D.R.E. ft. Snoop Dogg | 79 | 108 | 73,15 |
| Drake - The Motto ft. Lil Wayne, Tyga | 75 | 104 | 72,12 |
| Eminem - Stan ft. Dido | 114 | 114 | 100,00 |
| Eminem - When I'm Gone | 61 | 69 | 88,41 |
| Jay Z - Empire State of Mind ft. Alicia Keys | 64 | 69 | 92,75 |
| Kanye West - Gold Digger ft. Jamie Foxx | 225 | 56 | 0,00 |
| Lil Wayne - Lollipop ft. Static | 60 | 69 | 86,96 |
| Naughty By Nature - O.P.P. | 153 | 153 | 100,00 |
| OutKast ft. Sleepy Brown - The Way You Move | 62 | 62 | 100,00 |
| Snoop Dogg - Drop It Like It's Hot ft. Pharrell Williams | 89 | 92 | 96,74 |

Tab. P1.15. Rezultati za rap

| Ime izvođača, pjesme | BPM S.M | BPM M.O. | R [%] |
|--|------------|-------------|--------|
| AC-DC - Highway to Hell | 84 | 116 | 72,41 |
| Aerosmith - Cryin' | 204 | 154 | 67,53 |
| Alice Cooper - School's Out | 230 | 200 | 85,00 |
| Jimi Hendrix - All Along The Watchtower | 146 | 112 | 69,64 |
| Deep Purple - Smoke on the Water | 183 | 172 | 93,60 |
| Free Bird - Lynyrd Skynyrd | 230 | 58 | 0,00 |
| Guns 'N' Roses - Welcome To The Jungle | 91 | 248 | 36,69 |
| Jimi Hendrix - American Woman | 229 | 225 | 98,22 |
| Journey - Don't Stop Believin' | 84 | 112 | 75,00 |
| Led Zeppelin - Stairway To Heaven | 240 | 200 | 80,00 |
| Nightwish - Moondance | 123 | 135 | 91,11 |
| Nirvana - Smells Like Teen Spirit | 86 | 90 | 95,56 |
| Pink Floyd - Another Brick In The Wall | 73 | 104 | 70,19 |
| Queen - Bohemian Rhapsody | 78 | 78 | 100,00 |
| R.E.M. - Losing My Religion | 92 | 89 | 96,63 |
| Stone Temple Pilots - Interstate Love Song | 62 | 78 | 79,49 |

Tab. P1.16. Rezultati za rock