

Hromatogram tonova duvačkih instrumenata

Tatjana Miljković, Miloš Bjelić, Dragana Šumarac Pavlović, Jovana Protić

Apstrakt—U procesima automatskog prepoznavanja sadržaja audio signala koriste se različita obeležja zasnovana na analizi spektralnog sadržaja koja svode kompletan spektar signala na opseg jedne oktave. U radu su posmatrane razlike u spektralnim karakteristikama tonova odviranih na tri različita drvena duvačka instrumenta, oboi, flauti i klarinetu sa ciljem da se analizira mogućnost primene hromatograma kao obeležja u prepoznavanju vrste instrumenta. Analizom su obuhvaćeni tonovi unutar celog opsega svakog pojedinačnog instrumenta, a detaljno su analizirani tonovi u rasponu od C4 do H4, gde je redni broj oktave predstavljen anglosaksonskom notacijom. Rezultati dobijeni analizom prikazanom u radu predstavljaju polaznu osnovu za definisanje šablona hroma profila (*Chroma class*) karakterističnih za pojedine instrumente.

Gljučne reči—flauta; hromatogram; klarinet; oboa; pisak; ton.

I. UVOD

Evolucijom digitalnih tehnologija pojavila se mogućnost za razvoj različitih metodologija kojim se mogu analizirati audio zapisi muzičkog sadržaja. Stečena znanja o osobinama i građi zvuka stvorila su osnov za dalja istraživanja audio zapisa muzičkog sadržaja, ali takođe i za određivanje atributa zvuka muzičkih instrumenata, pomoću savremenih softverskih alata. Kao reference pri istraživanju muzičkih signala najčešće se uzimaju u obzir nekoliko osnovnih parametara koji ih opisuju i to: visina tona, melodija, harmonija i ritam.

Visina tona ili tonska visina (*pitch*) jedan je od psihoakustičkih atributa zvuka. Potrebno je istaći da pojmovi frekvencija zvuka i tonska visina nisu ekvivalentni, već se razlikuju zbog činjenice da se tonska visina određuje čovečijim opažanjem, dok se frekvencija zvuka izražava na skali frekvencije i može se egzaktno odrediti. Šezdesetih godina prošlog veka Roger Šeparad je zaključio da je percepcija tonske visine kod čoveka određena dvodimenzionalnim sistemom [1]. Čovekov slušni sistem bolje opaža tonsku visinu ukoliko se ona predstavi spiralnom linijom umesto krugom [2]. Takav sistem predstavljen spiralnom linijom nazvan je Shepardova spirala, gde je ugaona dimenzija spirale predstavljena kao hroma (*chroma*), a

vertikalna dimenzija kao tonska visina [3]. Ugaona dimenzija, hroma kruga nastaje pri preslikavanju svih frekvencija na opseg jedne oktave, gde oktava predstavlja frekvencijski interval koji odgovara odnosu 1:2. Pri proučavanju spirale Shepard se bazirao na istraživanju muzike zapadne kulture čiju osnovu čine temperovane skale. Kako je temperovana skala sastavljena od 12 polustepena na hroma krugu je svih 12 tonova jedne oktave postavljeno na jednakim rastojanjima.

Iako postoje raznovrsni muzički sadržaji njihova osnova je ista i čine je tonovi. Ton predstavlja zvuk koji ima izraženu tonsku visinu. Spektar tona je diskretan i sastavljen od harmonijskog niza frekvencija koji se u muzičkoj literaturi naziva alikvotni niz [4]. Harmonijski niz frekvencija kao takav se prema osnovnom tonu odnosi kao 1:2:3:4: n , gde je n određena granična frekvencija. Iako je intervalski odnos harmonika prema osnovnom tonu uvek jednak, kod različitih muzičkih instrumenata razlikuje se relativna jačina pojedinih alikvota. Razlike u relativnoj jačini pojedinih alikvota formiraju anvelopu spektra tona koja predstavlja jedan od faktora kojim se definiše boja tona.

Proces percepcije tonske visine kod čoveka formira se na logaritamskoj frekvencijskoj osi. Proces koji se odvija u čulu sluha dovodi do preslikavanja harmonijskog niza frekvencija na logaritamsku frekvencijsku osu. Pri preslikavanju spektralnih komponenti tona na hroma krug pozicije nekih komponenti odgovaraju određenim tonovima unutar jedne oktave. Analizom pozicija harmonika određenog tona na hroma krugu nakon preslikavanja pokazano je da se ukupna energija tona dominantno nalazi na osnovnoj frekvenciji tona i na frekvencijama koje odgovaraju intervalima velike terce i čiste kvinte. Raspodela energije jednog tona unutar hroma kruga predstavlja pogodan podatak za prepoznavanje različitih karakteristika kojima se mogu opisati muzički signali. Takođe, zbog izražene harmonijske strukture muzički ton se može jednostavno matematički modelovati. U literaturi je pokazano da takav model predstavlja jedan od glavnih ulaznih parametara algoritama za automatsko prepoznavanje atributa muzičkih instrumenata [5].

Analizom tonova odsviranih na različitim muzičkim instrumentima može se doći do parametara koji bi se koristili za automatsku klasifikaciju instrumenata u složenijim audio zapisima. U ovom radu zadatak je bio analiza tonova odsviranih na drvenim duvačkim instrumentima, i to na flauti, oboi i klarinetu korišćenjem hromatograma [6] kao alata za obradu signala. Pri analizi su korišćeni tonovi hromatske lestvice u kompletnom opsegu svakog pojedinačnog instrumenta. Uredna analiza hroma profila tonova izvršena je na bazi 12 polustepena između tona C4 i H4. Kao značajni element koji definiše konačni oblik hroma profila tonova analiziran je frekvencijski spektar svakog

Tatjana Miljković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: miataca7@gmail.com).

Miloš Bjelić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: bjelic@etf.rs).

Dragana Šumarac Pavlović – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: dsumarac@etf.rs).

Jovana Protić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: jojo.protic@gmail.com).

instrumenta i način generisanja pobude. Prikazane razlike u hroma profilima mogu biti značajne kao polazni podatak prilikom automatskog prepoznavanja muzičkog sadržaja i instrumenta u audio signalima.

II. OSNOVNE OSOBINE DRVENIH DUVAČKIH INSTRUMENATA I METODOLOGIJA ZA ANALIZU

A. Mehanizam generisanja zvuka drvenih duvačkih instrumenata

Duvački instrumenti se obično grupišu prema materijalu od koga su načinjeni, te na osnovu tog parametra postoje dve grupe instrumenata: drveni i metalni duvački instrumenti. Instrumenti koji su predmet ovog rada su iz grupe drvenih duvačkih instrumenata i to flauta, oboa i klarinet. Zalaženjem u finiju podelu drvenih duvačkih instrumenata zasnovanu na načinu generisanja zvuka razlikuju se instrumenti sa vazдушnim i trščanim jezičkom. U instrumente sa vazдушnim jezičkom spada flauta, dok u instrumente sa trščanim jezičkom spadaju svi ostali. Trščani jezičak može biti jednostruki kao kod klarineta ili dvostruki kao kod oboe, fagota i engleskog roga.

Vazdušni jezičak kod flaute se obrazuje udarom vazdušnog mlaza o takozvanu usnu koja predstavlja oštru ivicu ulaznog otvora cevi. Nailaskom na ivicu vazdušni mlaz se deli na dve struje od kojih jedna ulazi u samu cev, dok se druga slobodno širi izvan nje. Prva struja naizmenično prodiru u cev, sabijajući vazduh u njoj, i odatle biva potisnuta njegovim ponovnim širenjem. Na taj način dolazi do treperenja vazdušnog stuba. Učestanost treperenja određuje visinu proizvedenog tona i zavisna je od dužine vazdušnog stuba. Dužina vazdušnog stuba se može menjati otvaranjem pojedinih rupa koje postoje na cevi instrumenta [4].

Mehanizam generisanja zvuka kod ostalih drvenih duvačkih instrumenata zasniva se na duvanju vazduha iz pluća svirača, to jest povećanjem vazdušnog pritiska na prorez piska. Pod dejstvom nadpristiska koji stvara vokalni trakt svirača trske vibriraju proizvodeći promenljivu vazdušnu pobudu cevi. Način vibriranja određen je s jedne strane pritiskom iz vokalnog trakta, a s druge uticajem složene impedanse koja se formira u cevi kao rezonantnom sistemu. Kod klarineta pisak je jednostruki i trska pod pritiskom vazdušnog mlaza treperi prema suprotnoj strani usnika za koji je pričvrščena. Pisak kod oboe, fagota i engleskog roga je dvostruki, to jest čine ga dve uvezane trske koje pod pritiskom vazdušnog stuba trepere jedna prema drugoj. Takav vid treperenja ravnomerno prekida i propušta priliv vazduha u cev instrumenta, čime dolazi do naizmenične kompresije i depresije zvuka u cevi [4]. Dužina vazdušnog stuba koji se time dovodi u treperenje određuje visinu tona. Otvaranjem i zatvaranjem pojedinih rupica na cevi instrumenta skraćuje se ili produžava vazdušni stub, što dovodi do nastanka tonova različitih visina.

Na Slici 1 prikazan je izgled tri duvačka instrumenta koja su predmet analize u ovom radu. Sa leve strane slike nalaze se skice preseka cevi ova tri instrumenta. Na osnovu slike se može primetiti da među njima postoji razlika u poprečnom

preseku cevi, izgledu otvora instrumenta kroz koje se ubacuje vazduh i izgledu otvora na kraju instrumenta.

Druga važna razlika u nastanku tonova kod ovih instrumenata je u način uspostavljanja stojećih talasa unutar cevi. Flauta u tom smislu predstavlja otvorenu cev u kojoj se uspostavlja modovi čije frekvencije stoje u odnosu 1:2:3:4 itd. S druge strane klarinet, s obzirom da usnik sa trščanim jezičkom zatvara cev, predstavlja cev zatvorenu na jednom kraju. Kao posledica, njegov spektar tonova ima izražene neparne harmonike što je naročito izraženo u niskim registrima. Zbog ove razlike između klarineta i flaute, klarinet iste dužine može da proizvede dva puta niži ton. U spektru tonova oboe izraženi su i parni i neparni harmonici.



Sl.1. Izgled analiziranih instrumenata flaute, klarineta i oboe i skica preseka njihovih cevi (levo)

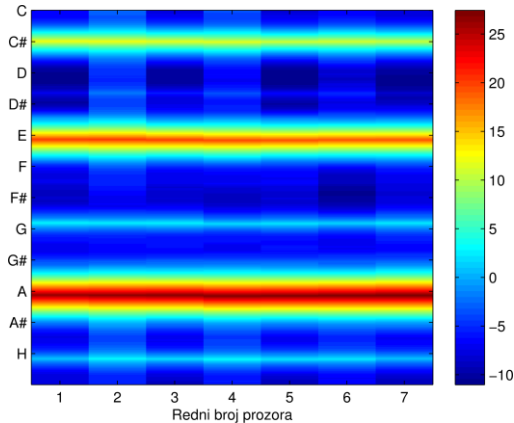
B. Hromatogram

Hromatogram predstavlja sredstvo za analizu raspodele energije signala unutar zadatog broja intervala u okviru jedne oktave. Kako je akcenat istraživanja na muzici zapadne kulture sa temperovanim skalama, u ovoj analizi je posmatrana raspodela energije signala unutar 12 intervala koji odgovaraju polustepenima jedne oktave. U tom slučaju hromatogram predstavlja vremensko-frekvencijski prikaz signala gde je njegov kompletan spektar transponovan na jednu izabranu oktavu izdeljenu na 12 podopsega. U analizi hromatograma muzičkih tonova opseg jedne oktave može biti podeljen na proizvoljan broj intervala procentualno jednakog frekvencijskog opsega. Na taj način se osim podele na 12 intervala koji odgovaraju temperovanom sistemu, hromatogram može posmatrati i sa rezolucijom od jednog centa. Podela na cente podrazumeva da je u okviru jedne oktave definisano 1200 intervala čija je širina $2^{1/1200}$. Ovakva vrsta hroma profila sa rezolucijom od jednog centa daje precizan uvid u tačnost intonacije svakog tona.

Izračunavanje hroma karakteristika jednog muzičkog signala svodi se na množenje hroma matrice i spektrograma datog signala. Na taj način se dobija nova matrica koja se naziva hromatogram [6]. Spektrogram signala predstavlja matricu S dimenzija $N \times M$ dobijenu pomoću kratkovremene Furijeove transformacije ($STFT$). Redovi matrice S odgovaraju svakoj od N frekvencija i imaju indekse k , $k \in [0, N-1]$. Broj kolona matrice S odgovara broju prozora u vremenu M . Hroma matrica C je dimenzija $K \times N$, gde K predstavlja broj opsega u okviru jedne oktave. Vrednost parametra K je 12, što odgovara temperovanoj skali. Redovi matrice C dobijaju se sumiranjem vektora c svih oktava koji odgovaraju traženoj noti [7]. Množenjem matrice C i spektrograma dobijaju se svi frekvencijski binovi hromatograma. Pri računanju hromatograma sve oktave

muzičkog signala transponovane su u nultu oktavu, koja počinje od frekvencije 16.35 Hz.

Kao ilustracija ovakvog pristupa u izračunavanju hromatograma kada je spektrogram signala transponovan na oktavu izdijelenu na 1200 podopsega, na Slici 2 dat je prikaz hromatograma za ton A iz četvrte oktave odsviran na oboi. Analizom raspodele energije u prikazanom hromatogramu može se primetiti da se ukupna energija tona dominantno nalazi na osnovnoj frekvenciji odsviranog tona i na frekvenijama koje odgovaraju intervalima velike terce i čiste kvinte.



Slika 2. Izgled hromatograma sa 1200 podopsega za ton A4 odsviran na oboi

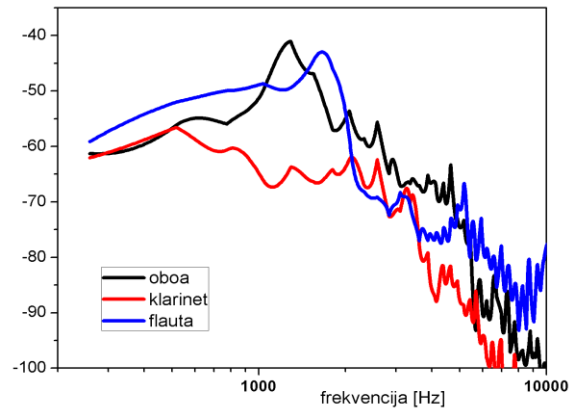
III. REZULTATI ANALIZE I DISKUSIJA

Kod tonova iste tonske visine koji su proizvedeni na različitim instrumentima uočavaju se određene razlike kako u vremenskoj obvojnici signala, tako i u obvojnici spektra. U procesu nastanka zvuka kod drvenih duvačkih instrumenata mnogo faktora utiče na konačnu vremensku i spektralnu strukturu zvuka, kao i opseg koji instrument može da reprodukuje. Najznačajniji faktori su način pobude, poprečni presek cevi instrumenta, završetak cevi, koji svi utiču na formiranje akustičke impedanse instrumenta koja se vidi na otvoru gde se vrši pobuda. Kao posledica svih tih faktora u ukupnom spektru zvuka koji može da se reprodukuje nekim instrumentom vidljive su razlike koje se ispoljavaju u manje ili više istaknutim formantnim oblastima koje definišu odnos energije na pojedinim intervalima u hroma profilu tona. U narednim poglavljima prikazani su rezultati analiza, načinjenih na bazi snimljenih audio signala, u okviru kojih je izvršena estimacija obvojnice spektra svakog instrumenta, karakterizacija pobudnog signala na pisku, uporedna naliza hroma profila tonova unutar jedne oktave C4-H4 i stabilnost hroma profila istog tona izvađenog iz različitog muzičkog sadržaja.

A. Obvojnica spektra zvuka posmatranih instrumenata

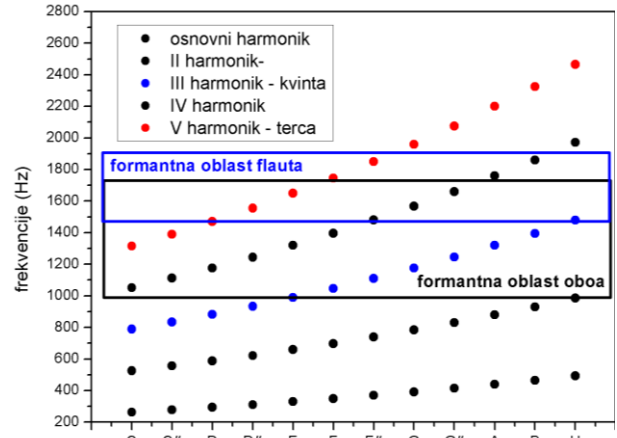
Na osnovu hromatske skale odsvirane u potpunom opsegu, koji pokrivaju posmatrani instrumenti, oboa, flauta i klarinet, izvršena je estimacija spektra zvuka koji daju pojedinačni instrumenti. Rezultat je prikazan na Slici 3. Spektar zvuka oboe karakteriše pojava izražene formantne

oblasti u opsegu od 1000 Hz do 1700 Hz sa maksimumom na 1300 Hz, dok je kod flaute taj maksimum pomeren na nešto više frekvencije i nalazi se u oblasti između 1450 Hz i 1900 Hz. Spektar zvuka klarineta nema izražene formantne oblasti i ima ujednačen spektar u širem frekventijskom opsegu u kome se nalaze osnovne frekvencije tonova koje klarinet može da proizvede, kao i viši harmonici tonova iz opsega od C4 do H4.



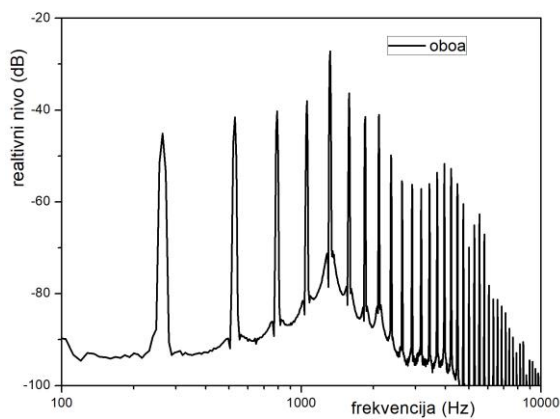
Slika 3. Srednji spektar svih tonova u okviru celog frekventijskog opsega instrumenata

Na Slici 4 označene su frekvencije prvih 5 parcijala tonova iz opsega C4-H4. Na slici su označene zone u kojima se nalaze istaknute formantne oblasti kod flaute i oboe. U okviru prvih pet parcijala tri odgovaraju osnovnom tonu, dok treći parcijal odgovara čistoj kvinti i peti parcijal velikoj terci osnovnog tona.

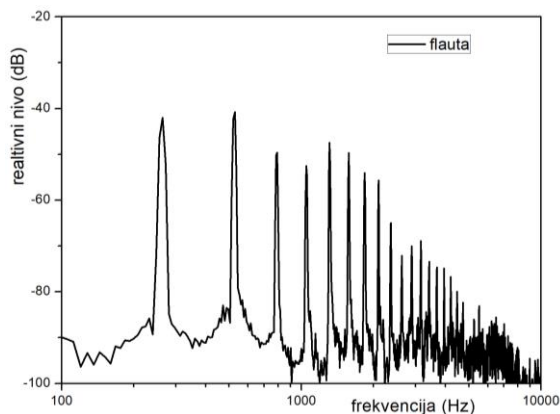


Slika 4. Frekvencije prvih 5 parcijala tonova iz opsega C4-H4. Plavim i crnim kvadratima su označeni frekventijski opsezi koji odgovaraju formantnim oblastima vidljivim u spektru flaute i oboe.

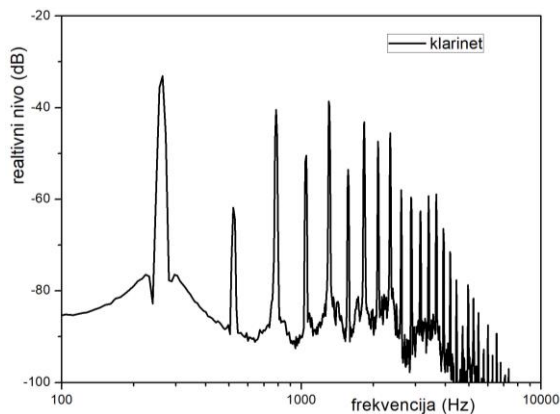
Da bi se uporedio frekventijski sadržaj zvuka analiziranih instrumenata na Slici 5 prikazani su spektri tona C4 odsviranog na njima. Na primeru ovog tona jasno je uočljiva razlika u obvojnici spektra karakterističnoj za svaki od instrumenata. Vidi se da je relativni spektar oboe značajno viši u frekventijskom opsegu iznad 2000 Hz u odnosu na spektar flaute i klarineta, što za posledicu ima veće bogatstvo viših harmonika i samim tim i manje razlike u nivoima harmonika koji odgovaraju IV i VII polustepenu (terca i kvinta).



a)



b)



c)

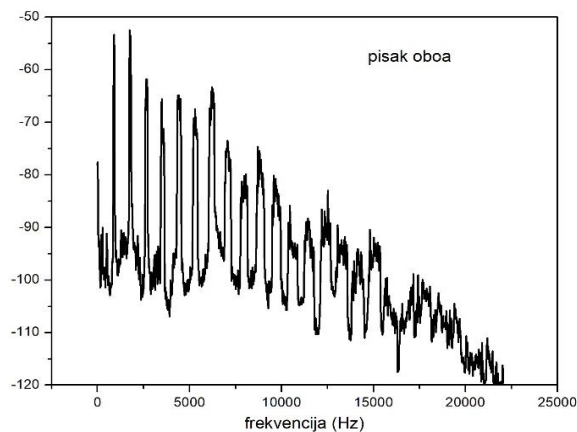
Sl. 5. Spektri tona C4 odsviranog na: a) oboi, b) flauti, c) klarinetu

B. Analiza zvuka na pisku instrumenta

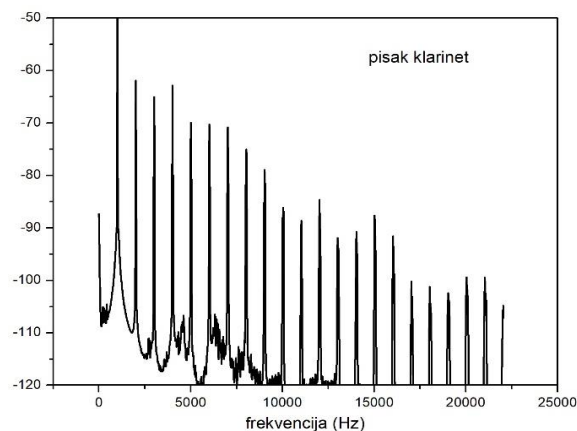
Način pobude rezonantne cevi je jedna od karakteristika koja razlikuje analizirane instrumente. Kod oboe i klarineta gde postoji pisak sa jednim ili dva jezička moguće je analizirati i sam ton koji nastaje ne pisku. Ton koji nastaje na pisku je periodičan i njegova struktura zavisi kako od materijala i vrste piska tako i od pridružene kratke cevi na koju je pričvršćen.

Na Slikama 6 i 7 prikazani su spektri tonova koji nastaju na samom pisku oboe i klarineta (kada su skinuti sa instrumenta). Pisak kod oboe nema pridruženu rezonantnu cev pa je njegov spektar, iako prepoznatljive visine, nestabilan u oblasti viših

harmonika, dok je zvuk koji nastaje na pisku klarineta koji je pričvršćen na jednu kratku cev stabilniji u oblasti viših harmonika. Tu stabilnost mu daju rezonantne frekvencije segmenta instrumenta na koji je trska pričvršćena. Osnovna frekvencija oscilovanja samog piska bez rezonantne cevi nema direktnog uticaja na frekvenciju tona koja je određena dužinom rezonantne cevi, ali ima uticaja na izražene formantne oblasti u obvojnici spektra instrumenta [8]. Između oscilatornih procesa na samom pisku i oscilatornih procesa u rezonatoru javlja se sprega i ona zavisi od debljine, elastičnosti i dužine jezičaka na pisku. Osnovna frekvencija piska oboe i klarineta koji su analizirani nalazi se iznad 700 Hz i oni samo posredno utiču na stabilnost viših harmonika rezonantnih procesa u cevi.



Sl. 6. Spektar tona nastalog na pisku oboe



Sl. 7. Spektar tona nastalog na pisku klarineta

C. Razlike u hroma profilu tonova odsviranih na flauti, oboi i klarinetu

Uzmajući u obzir razlike u načinu nastanka tona na pojedinim posmatranim instrumentima, analizirani su hroma profili tonova odsviranih u kompletnom opsegu sa ciljem da se ustanove njihove međusobne razlike koje bi mogle da posluže kao osnov za prepoznavanje instrumenata u zadacima iz oblasti automatske analize muzičkog sadržaja. Analizom su obučeni tonovi hromatskih lestvica u celom opsegu koji posmatrani instrumenti mogu da proizvedu. Hromatske lestvice odsvirane su bez dodatne intonacije, tako da je analizi prethodila provera tačnosti intonacije svih tonova kao uslov za

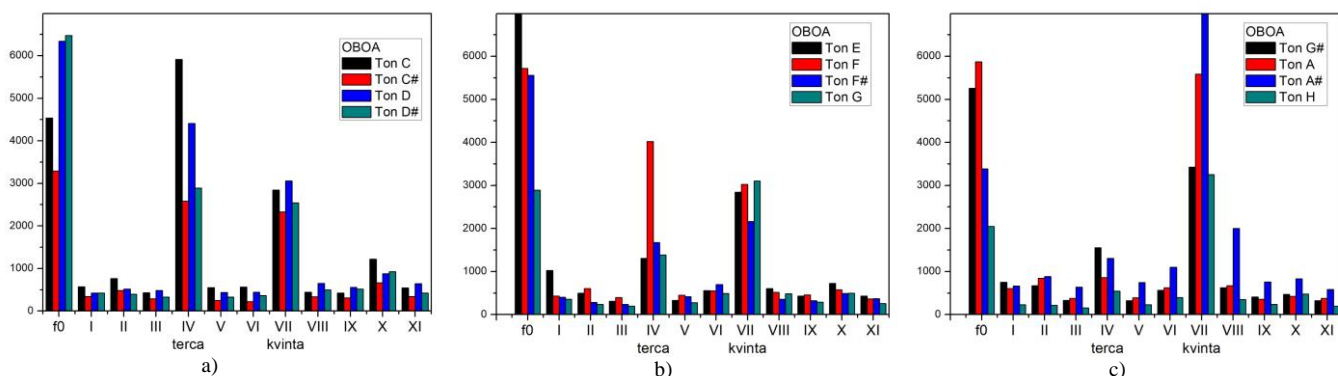
primenu hromatske analize. U radu su detaljno analizirani tonovi iz oktave koja obuhvata tonove od C4 do H4 jer su u toj oktavi bile u svim slučajevima najtačnije intonacije. Na Slikama 8, 9 i 10 prikazani su hroma profili za 12 tonova odsviranih na oboi, flauti i klarinetu, respektivno.

Na slikama su uočljive značajne razlike u hroma profilima istih tonova odsviranih na različitim instrumentima, ako i različite varijacije u hroma profilima različitih tonova. Zbog postojanja izražene formatne oblasti u oblasti oko 1200 Hz gde se nalazi veliki broj parcijala posmatranih tonova kod oboe je izražena različita raspodela energije unutar pojedinih intervala. Kod određenih tonova (C4, C#4, D4, D#4, F4) veoma je ujednačena energija na osnovnom tonu i IV i VII polustepenu (slika 11 prikazuje kompletan spektar tona F, oboa). Nasuprot tome, kod druge grupe tonova (G4, A4, A#4, H4) počinje da dominira energija na VII polustepenu tona. Najdrastičniji slučaj je kod tona A#4, čiji je spektar prikazan

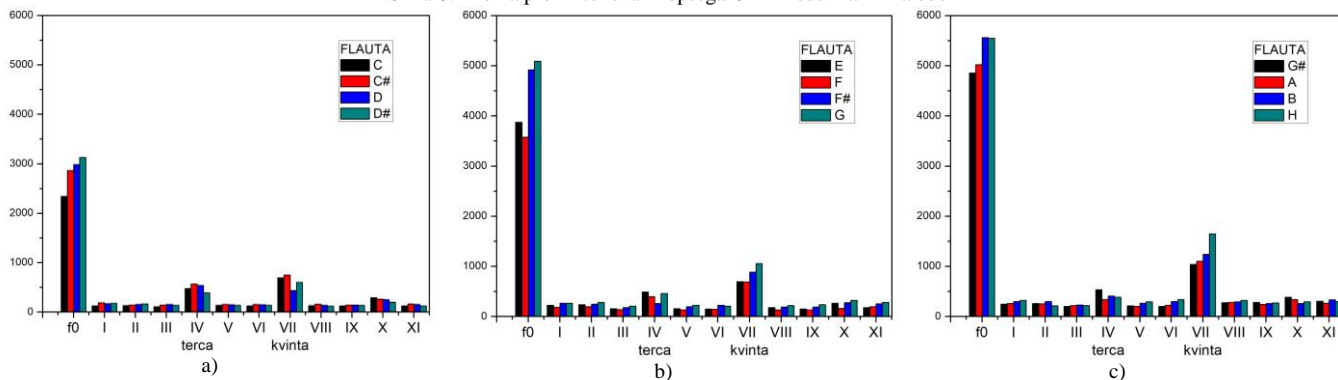
na Slici 12, gde je očigledno da treći parcijal (koji odgovara čistoj kvinti) energetski dominira.

Za razliku od raznolikosti hroma profila tonova oboe, hroma profili tonova flaute imaju najujednačeniju strukturu unutar cele posmatrane oktave. Formantna oblast kod flaute je na nešto višim frekvencijama, oko 1700 Hz, i kao takva ona ima manje uticaja na odnos energije prvih značajnih parcijala tonova iz opsega C4-H4. Svi tonovi u posmatranoj oktavi imaju veoma izraženu energiju na osnovnom tonu koja dominira u odnosu na energiju na IV i VII polustepenu.

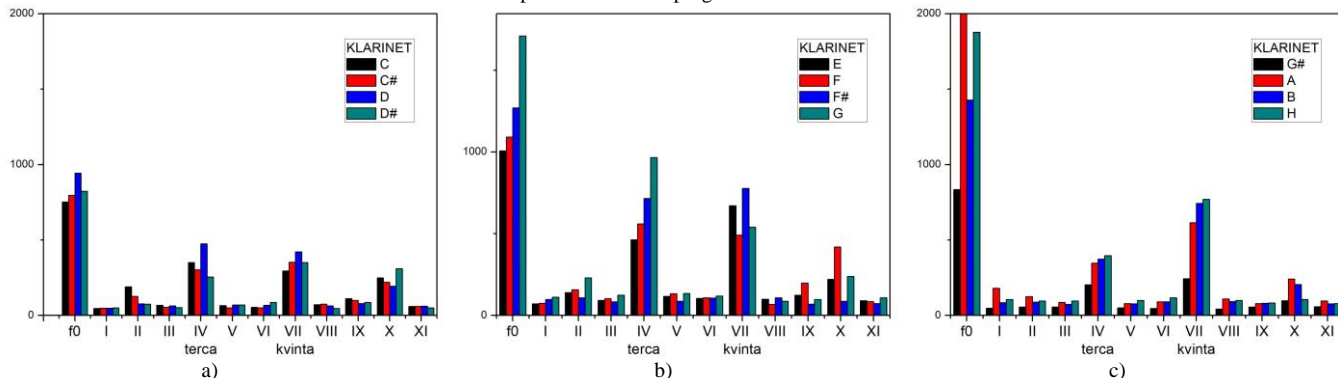
Kod klarineta nije dominantan osnovni ton, kao kod flaute, već se javlja relativno velika energija i na IV i VII polustepenu. Ono što je karakteristično za klarinet je relativna izraženost energije na X polustepenu. Ovakva raspodela energije može se objasniti obvojnicom spektra instrumenta u kome postoji određen nedostatak energije u zoni prvih parcijala za tonove iz opsega C4-H4, ali i relativno ujednačen spektar na višim frekvencijama kao posledica uticaja piska.



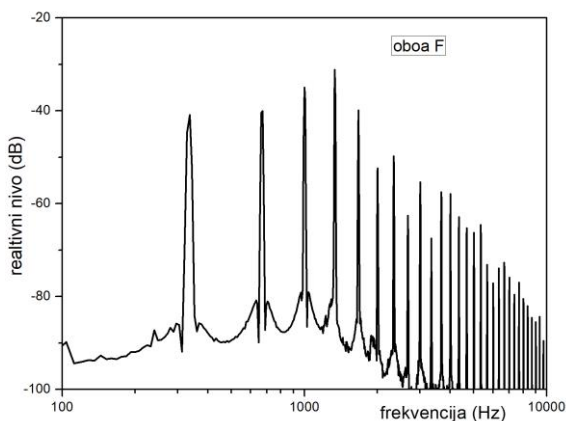
Slika 8. Hroma profili tonova iz opsega C4-H4 odsviranih na oboi



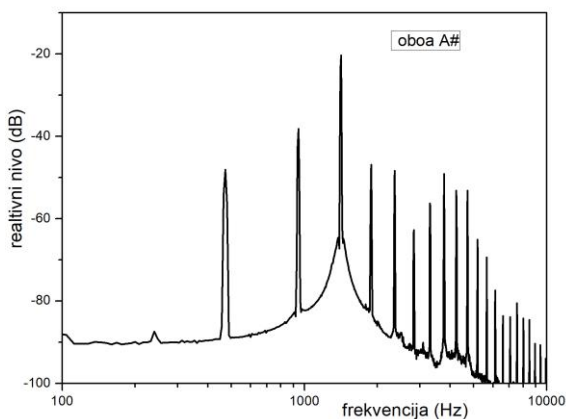
Slika 9. Hroma profili tonova iz opsega C4-H4 odsviranih na flauti



Slika 10. Hroma profili tonova iz opsega C4-H4 odsviranih na klarinetu



Slika 11. Spektar tona F, oboa



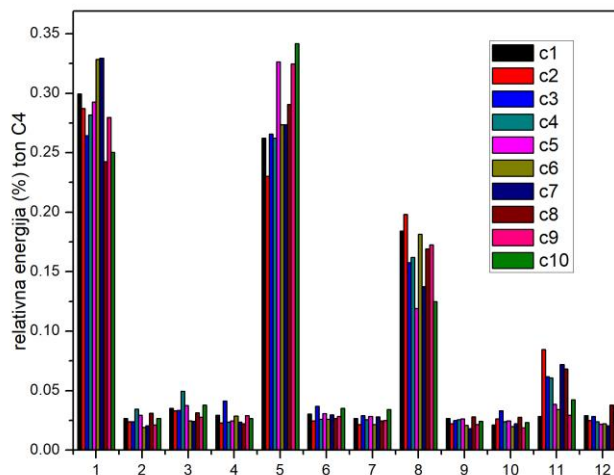
Slika 12. Spektar tona A#, oboa

D. Stabilnost hroma profila tona sviranog u različitim kontekstu

Da bi se utvrdila stabilnost hroma profila istih tonova jednog instrumenta analizirani su hroma profili kada je isti ton izvađen iz različitog muzičkog konteksta, različitih lestvica, trozvuka ili odsviranih melodija. Kao ilustracija dobijenih rezultata na slici 13 prikazan je uporedni prikaz relativne energije tona C4 odsviranog na oboi u 10 različitih muzičkih struktura. Prikazani rezultat pokazuje stabilnost hroma profila nezavisno od načina sviranja i muzičkog konteksta. Određene razlike mogu se tumačiti i malom promenom intonacije koja je značajna u izračunavanju hroma profila.

IV. ZAKLJUČAK

U radu su analizirane spektralne karakteristike tonova instrumenata iz grupe drvenih duvačkih instrumenata oboe, flaute i klarineta. Ovi instrumenti odabrani su tako da pokrivaju širok opseg varijacija u pogledu načina pobuđivanja, oblika cevi i strukture rezonantnih modova. Osnovna razlika u karakteristikama pojedinih instrumenata sadržana se u obvojnici ukupnog spektra. Predložena metodologija karakterizacije instrumenata i drugih muzičkih atributa bazirana na hroma profilu tonova pokazala je očuvanje tih ključnih razlika. Prikazane razlike između instrumenata, pružaju dobru osnovu za upotrebu hroma profila u različitim aplikacijama za automatsko pretraživanje instrumenta, tonaliteta i drugih muzičkih atributa.



Slika 13. Relativna promena hroma profila tona C4 odvisnog na oboi u 10 različitih muzičkih sadržaja

LITERATURA

- [1] R. N. Shepard, "Circularity in judgements of relative pitch", J. Acoust. Soc. Amer., vol. 36, pp. 2346–2353, 1964.
- [2] R. D. Patterson, "Spiral detection of periodicity and the spiral form of musical scales," Psychol. Music, vol. 14, pp. 44–61, 1986.
- [3] M. A. Bartsch, G. H. Wakefield, „Audio Thumbnailing of Popular Music Using Chroma-Based Representations“, IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 7, No. 1, 2005.
- [4] D. Despić, "Muzički instrumenti", Univerzitet umetnosti Beograd, Beograd, 1979.
- [5] C. Harte and M. Sandler, "Automatic chord identification using a quantised chromagram", In Proceedings of the 118th AES Convention, Barcelona, Spain, 2005.
- [6] M. Muller, D. W. Ellis, A. Klapuri, G. Richard, "Signal Processing for Music Analysis", Journal of latex class files, Vol. 6, No. 1, January 2007.
- [7] M. Slavković-Ivić, D. Šumarac Pavlović, „Analiza muzičkih tonova pomoću hromatograma“, ETRAN, Zlatibor, jun 2016, Zbornik radova, ISBN: 978-86-7466-618-0.
- [8] A. Miklos, J. Angster, S. Pitch, T. Rossing, "Interaction of reed and resonator by sound generation in a reed organ pipe", J. Acoust. Soc. Am. 119 (5), May 2006

ABSTRACT

In the processes of automatic recognition of the content of audio signals, various features based on the analysis of spectral content are used, which translate the entire spectrum of the signal to the extent of one octave. In this paper, the observed differences in the spectral characteristics of the tones played on three different wooden wind instruments, oboe, flute and clarinet with the aim of analyzing the possibility of applying chromatograms as a mark in identifying the type of instrument. The analysis covered the tones within the entire range of each individual instrument and analyzed in detail the tones ranging from C4 to H4, where the number of the octave is represented by an Anglo-Saxon notation. The results obtained by the analysis presented in this paper represent the starting basis for the definition of Chroma class as characteristic of each individual instruments.

CHROMATOGRAM OF BLOWING INSTRUMENTS TONES

Tatjana Miljković, Miloš Bjelić, Dragana Šumarac Pavlović, Jovana Protić