

PRILOG PREPOZNAVANJU TONALITETA PRIMJENOM NEURALNIH MREŽA

Olivera Laković, Novak Jauković, Budimir Lutovac, Miloš Daković, *Elektrotehnički fakultet, Podgorica*

Sadržaj: U radu je prezentiran dio istraživanja vezan za prepoznavanje muzičkih elemenata i oblika. Rad obrađuje prepoznavanje klasičnog tonaliteta, teorijski posmatrano, sa objektivno - akustičkog aspekta. Ovaj problem se u ovim istraživanjima razmatra i pokušava riješiti različitim metodama vještačke inteligencije. U ovom radu je prezentiran način prepoznavanja klasičnog tonaliteta pomoću neuralnih mreža. Problem je razmatran na uzorcima definisane dužine. Mreža za prepoznavanje tonaliteta obučavana je na uzorcima od dvanaest nota sa različitim brojem različitih nota. U radu je data analiza problema i prikazani su rezultati prepoznavanja na odabranim primjerima.

1. UVOD

Savremene računarske tehnologije omogućavaju da se pomoću njih tretiraju i one oblasti koje su bile isključivo vezane za čovjekov duhovni život. Jedna od tih oblasti je i muzika. Muzika kao i svaka druga umjetnost može da se posmatra i kao simbolički jezik. Kao i kod drugih umjetnosti razlikujemo proces kreacije muzičkog djela, postojanje samog djela, i proces razumijevanja. Računarska tehnologija je našla primjenu u procesu kreiranja, odnosno komponovanja muzičkog djela i u procesu izvođenja. Mudutim, prepoznavanje muzičkih elemenata, formi, djela od strane računara nije razmatrano.

U okviru istraživanja, koja se sada vrše [4],[5], razmatra se mogućnost prepoznavanja osnovnih muzičkih elemenata i oblika. Ovaj problem se pokušava riješiti metodama vještačke inteligencije. Prvi muzički element koji se razmatra sa ovog aspekta je klasični tonalitet. Razlog za ovo je njegov značaj u muzičkim elementima i oblicima, dobra teorijska definisanost, kao i njegova uloga u prepoznavanju muzičkih oblika, stilova i epoha.

Prepoznavanje tonaliteta pokušava se riješiti različitim metodama vještačke inteligencije. U ovom radu je prezentiran pristup prepoznavanju pomoću neuralnih mreža. Problem je principijelno razmatran i rešavan na uzorcima određene dužine. Posmatrani su uzorci sa dvanaest nota sa različitim brojem i rasporedom različitih nota. Za obučavanje je korišćena neuralna mreža sa back-propagation algoritmom obučavanja.

2. TONALITET

Tonalitet predstavlja cjelokupni tonski materijal neke ljestvice i vanljestvičnih tonova koji daje građu za melodiku i harmoniju neke kompozicije, odnosno nekog

većeg ili manjeg njenog odsjeka [1], [2]. Tonalitet može imati dvojako značenje, uže i šire, a time i bitno različitu širinu u stilsko - istorijskoj lokaciji. U užem smislu, tonalitet se shvata kao primarno harmonijski fenomen, kao organizovan splet prvenstveno harmonijskih funkcija koje gravitiraju zajedničkoj tonici, a podlogu im čini dursko - molški ljestvični sistem. U širem smislu, tonalitet se shvata kao sistemska i tonalno centralizovana organizacija muzičkog tkiva uopšte, bez obzira na ljestvičnu podjelu, hronološku lokaciju i primat melodijskog ili harmonijskih elementa.

U razvoju muzičke umjetnosti, još od njenih prapočetaka, bila je stalno izražena pojava tonalne gravitacije, odnosno izvjesne centralizovanosti muzičkih zbivanja oko pojedinog tona. Međutim, ta pojava je imala pretežno, a zadugo i isključivo melodijski karakter, sve do pojave "klasične" muzike, kada dobija harmonijski karakter i dursko - molšku ljestvičnu podlogu.

Dursko - molška ljestvična baza tonaliteta karakteristična je za epohu tradicionalnih stilova (barok, klasika, romantizam), odnosno za muziku koja se popularno zove "klasičnom", u širem smislu te riječi, a obuhvata raspon od 17. do kraja 19. vijeka. Međutim, zamci takvog tonaliteta zapažaju se i nešto prije ovog perioda, a njegovi zaostaci i do danas. Ovako shvaćen i ovako lociran tonalitet, naziva se "tradicionalnim", ili "klasičnim".

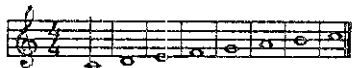
Razmatranje klasičnog tonaliteta može se vršiti sa dva aspekta, objektivno-akustičkog i subjektivno-psihološkog [3]. U ovom radu se razmatra samo objektivno-akustički aspekt. Razmatraju se samo objektivna zvučna zbivanja i odnosi koji se sa njima uspostavljaju i kroz koje se tonalitet afirmiše stvarno, nezavisno od predstave slušaoca o njemu.

Drugi aspekt, subjektivno-psihološki, se odnosi na tonalitet kao utisak ili psihološku predstavu o sistematskoj organizovanosti i gravitaciji određenog muzičkog tkiva, koja se u svijesti slušaoca formira kroz sam proces slušanja muzike, pa je zavisna od niza psiholoških, u krajnjoj liniji, subjektivnih činilaca.

Posmatrano u užem smislu, tj. kao klasični tonalitet koji se oslanja na ljestvice, tonalitet predstavlja uopšte cjelokupni tonski materijal ljestvičnih i njenih povišenih i sniženih tonova, bez obzira na red kojim se oni pojavljuju u toku kompozicije (sl.1). Ljestvica, međutim, predstavlja sistematski niz glavnih (nepovišenih i nesniženih) tonova nekog tonaliteta, poređanih postupno po visini, od prvog do posljednjeg stupnja (sl.2).



Sl. 1. Mozart, Klav. sonata C-dur



Sl. 2. C-dur ljestvica

Tonalitet je jedan od najbitnijih muzičkih elemenata u procesu komponovanja muzičkog djela. Ponekad je sasvim moguće da se cjelokupni muzički tekst, ili samo jedan njegov odjeljak, takođe neizmijenjen prenese na drugu tonalnu osnovu, pri čemu svi ostali činovi i odnosi u njemu ostaju isti, a mijenja se samo "osvjetljenje" ili "boja", zavisno od tonaliteta, ili kombinacije tonaliteta, na čiju je osnovu premješten.

Apsolutna promjena tonalne osnove, tj. transpozicija cijelog muzičkog teksta ima uglavnom usko praktičnu namjenu, kao mehanički, tehnički postupak, o čijoj se kolorističkoj posledici i ne vodi računa. Relativna promjena, tj. pomjeranje samo nekih djelova ili elemenata u odnosu na druge, ima značajno psihološko dejstvo, oblikotvornu i estetsku ulogu, odnosno umjetničku funkciju u sklopu muzičkog djela. Od toga koliko i gdje, zašto i na koji način se u muzičkom toku tonaliteti mijenjaju i međusobno povezuju ili suprotstavljaju, u velikoj mjeri zavisi i opšti karakter toga toka, njegov izražajni i dramatski naboj[1].

Tonalitet nije samo zbir tonova ili akorada, već i određeni sistem odnosa među njima, pri čemu se samo jedan od njih javlja kao središte gravitacije svih ostalih. Iz ove činjenice proizilazi da uporno trajanje jednog tonaliteta dovodi do zamora sluha i svijesti. Otuda potiče potreba za promjenama i smjenjivanjima tonaliteta. Analizom velikog broja muzičkih kompozicija, uočava se da načini smjenjivanja, povezivanja ili suprotstavljanja tonaliteta, kao i tipična mjesta na kojima se to događa nisu proizvoljni, već podliježu određenim teorijskim zakonitostima. Svaki muzički oblik, pored drugih faktora karakteriše i tipičan redosled smjenjivanja tonaliteta. Ova osobina se može koristiti u procesu njihovog prepoznavanja.

Pored uloge koju ima u raspoznavanju muzičkih oblika, tonalitet predstavlja bitan faktor u analizi muzičkih stilova, jer se svaka epoha u muzici karakteriše i različitim načinima primjene i tretiranja tonaliteta.

3. ANALIZA PROBLEMA

Za precizno određivanje tonaliteta potrebno je, pored melodijske linije, posmatrati akorde i njihovu međusobnu povezanost. U ovom radu se posmatra samo melodijska linija kompozicije, kao jedan segment u rješavanju problema prepoznavanja tonaliteta. U okviru jedne hromatske ljestvice ima 12 različitih tonova. Dijatonska ljestvica se definiše sa 7 različitih tonova iz skupa od 12 posmatranih i u odnosu na njih se definiše tonalitet. Zato je, u odnosu na melodijsku liniju, tonalitet u potpunosti određen sa 7 različitih tonova ljestvice na čijoj osnovi se gradi. Na skupu od 12 tonova definisano je 30 dijatonskih ljestvica, odnosno 30 tonaliteta, od kojih su 24 zvučno različita.

U cilju prepoznavanja tonaliteta pomoću neuralnih mreža, izvršena je analiza problema na slučajevima različitih uzoraka jednake dužine sa brojem različitih nota od 1 do 7. Analiza je pokazala da, pored slučaja sa 7 različitih tonova u uzorku, postoje slučajevi sa 6, 5 i 4 različita tona kod kojih se tonalitet takođe može jednoznačno odrediti. Pokazalo se, u analizi, da 4 različite note u uzorku, predstavljaju minimalan broj na osnovu koga se tonalitet može jednoznačno odrediti u pojedinim slučajevima. U svakom tonalitetu postoji po jedna kombinacija od 4 različite note tog tonaliteta koja je karakteristična i kao takva se može koristiti u prepoznavanju tog tonaliteta.

4. PREPOZNAVANJE TONALITETA POMOĆU NEURALNIH MREŽA

Za prepoznavanje tonaliteta je korišćena neuralna mreža sa back-propagation algoritmom obučavanja. Mreža je obučavana na uzorcima sa različitim brojem različitih nota.

4.1. Arhitektura mreže

Neuralna mreža za prepoznavanje tonaliteta strukturirana je, na osnovu analize problema, tako da ima 12 ulaza i 24 izlaza (slika 3). Svaki ulaz odgovara jednom tonu, a svakom izlazu pridružen je po jedan tonalitet. U tabeli I dat je prikaz ulaza, a u tabeli II dat je prikaz mogućih izlaza. Neuralna mreža ima 31 neuron u skrivenom sloju. Ulazne vrijednosti su predstavljene vektorima, dužine 12 (koliko ima različitih tonova), koji se sastoje od jedinica i nula, u zavisnosti od toga da li se odgovarajući ton pojavio ili nije. Na primjer, posmatrajmo G-dur tonalitet, koji se zasniva na G-dur ljestvici, koju čine sledeći tonovi: g, a, h, c, d, e, fis. Na osnovu tabele 1, uzimajući jedinicu na mjestu gdje se nota pojavila u G-duru, a nulu tamo gdje nije, dobija se ulazni vektor oblika (1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0). Na izlazu koji odgovara prepoznatom tonalitetu dobija se 1, a na ostalim izlazima nula. U navedenom primjeru, na osmom mjestu na izlazu će se nalaziti jedinica, dok će na svim ostalim mjestima biti nule.

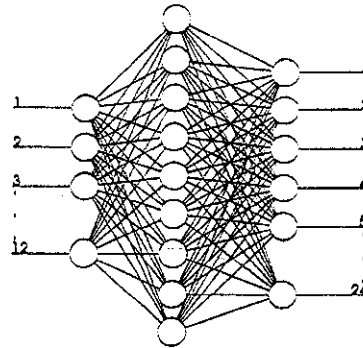
je nakon 25000 epoha uz grešku od 2.68%.

4.2. Izbor podataka za obučavanje

Prethodna analiza je pokazala da su potrebne najmanje 4 različite note da bi se jednoznačno odredio tonalitet, a da je tonalitet u potpunosti određen sa 7 različitih nota. Zbog toga su, u cijju obučavanja mreže, generisane sve moguće kombinacije od po 4, 5, 6 i 7 različitih nota i iz njih izdvojene one koje jednoznačno određuju tonalitet. Iz mogućih 2211 kombinacija od 4, 5 i 6 nota izdvojeno je njih 444. Njima su dodate i 24 kombinacije od po 7 nota (za 24 različita tonaliteta) što ukupno čini 468 kombinacija.

4.3. Obučavanje i testiranje neuralne mreže

Za obučavanje je korišćen Matlab i njegov toolbox za neuralne mreže, a kao ulaz je korišćena matrica 468x12. Obučavanje je trajalo 10 sati na PC-486 računaru na 100 MHz i 16 MB rama, a prekinuto



Slika 3. Arhitektura neuralne mreže

Tabela I

ulaz br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ton	his c	cis des	d	dis es	e fes	eis f	fis ges	g	gis as	a	ais b	h ces

Tabela II

izlaz br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
tonalitet (dur)	C	Cis	D	Es	E	F	Fis	G	As	A	B	H

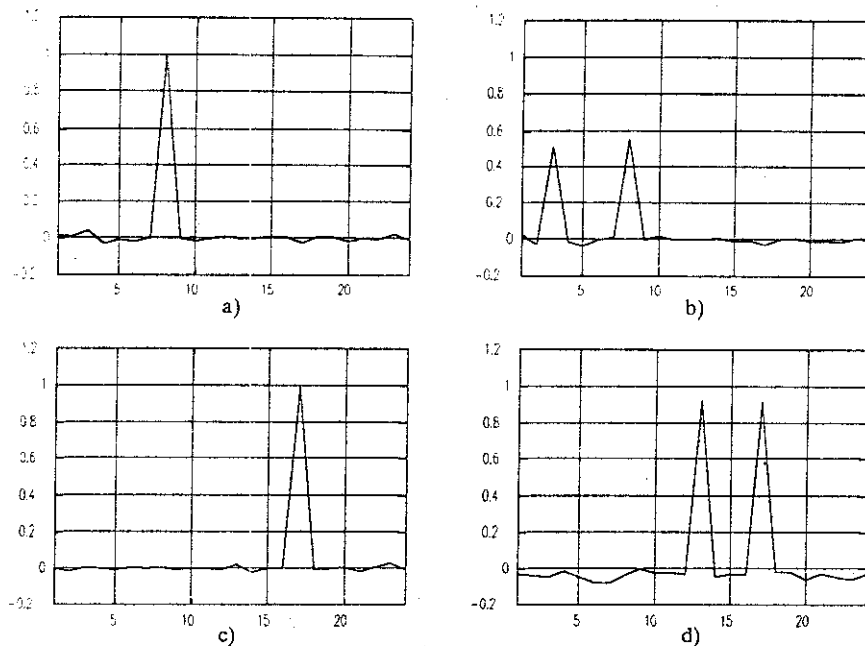
izlaz br.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
tonalitet (mol)	c	cis	d	dis	e	f	fis	g	gis	a	ais	h

Mreža je testirana na uzorcima koji nisu korišćeni za obučavanje i koji su generisani na proizvoljan način. Za sledeće vektore kao ulaze:

(1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1),
 (0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1),
 (1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 1),
 (1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1),

odgovarajući izlazi su predstavljeni na slikama 4, a), b), c) i d), respektivno. Na apscisama su dati durski i molski tonaliteti predstavljeni brojevima od 1 do 24. Na ordinatama se očitava izlaz iz neuralne mreže, od 0 do 1, koji predstavlja prepoznati tonalitet. Na slici 4.a) je

prikazan izlaz iz neuralne mreže, kada se na ulaz pojavi kombinacija sa 7 različitih nota. U tom slučaju se tonalitet određuje jednoznačno i to je G-dur (na osmom izlazu je jedinica, a na ostalim su nule). Na slici 4.b) je prikazan izlaz iz mreže kada se na ulaz dovede kombinacija sa 6 različitih nota. Tu kombinaciju mogu da sadrže dva tonaliteta-D-dur ili G-dur. Da bi se, u ovom slučaju, tonalitet odredio jednoznačno, potrebna je još jedna nota. U primjeru sa slike 4.c) tonalitet se određuje jednoznačno i to je e-mol. U slučaju prikazanom na slici 4.d) data kombinacija sa 4 različite note na ulazu može pripadati tonalitetima cis-mol i e-mol. Na trinaestom i sedamnaestom izlazu će biti jedinice, a na ostalima će biti nule.



Slika 4. Rezultati testiranja neuralne mreže

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prezentirani su rezultati istraživanja koji su pokazali mogućnost primijene neuralnih mreža u prepoznavanju tonaliteta. Početna istraživanja su vršena na uzorcima definisane dužine, odnosno broja nota (12 nota). Ovo nije realna situacija, jer u muzičkim djelima, dionice koje su napisane u istom tonalitetu nisu iste dužine. Ovakav prilaz, sa definisanim brojem nota, izabran je zato da bi se principijelno riješio problem prepoznavanja tonaliteta pomoću neuralnih mreža. Analizom je ustanovljeno sa kojim brojem različitih nota i u kakvim uslovima je moguće jednoznačno prepoznati tonalitet i pri kojim uslovima su i kakva višeznačna rješenja. Na osnovu ove analize je obučavana neuralna mreža koja je dala dobre rezultate. Dalja istraživanja će biti usmjerena na prepoznavanje tonaliteta pomoću neuralnih mreža u realnim uslovima, odnosno u muzičkim djelima.

LITERATURA

- [1] D. Despić, Kontrast tonaliteta, Univerzitet umetnosti, Beograd, 1989.
- [2] D. Despić, Teorija tonaliteta, Umetnička akademija, Beograd, 1971.
- [3] L. Mejer, Emocija i značenje u muzici, Nolit, Beograd, 1986.

[4] O. Laković, "Prilog prepoznavanju tonaliteta metodama vještačke inteligencije", magistarski rad, ETF, Podgorica, 1996.

[5] O. Laković, N. Jauković, V. Stevanović, D. Kostić, "Prepoznavanje tonaliteta sa objektivno-akustičkog aspekta", *IT'96*, Žabljak, mart 1996.

[6] R. Hecht-Nielsen, *Neurocomputing*, Addison-Wesley Publishing Company, inc., 1990.

[7] Bimal K. Bose, "Expert System, Fuzzy Logic and Neural Network Application in Power Electronic and Motion Control", *Proceeding of the IEEE*, August 1994, pp.1303-1323.

Abstract- This paper is a part of the research on the recognition of music elements and formes. Our work deals with the classic tonality recognition, from the objective-acoustic aspect. Different method of artificial intelligence are used in the research. A novel method using tehnic of neural networks is presented for the classic tonality recognition. Neural network for tonality recognition is training on patterns of 12 notes with different set of different notes. Finally, the results of analysis are given considering different exemples of training data.

CONTRIBUTION TO TONALITY RECOGNITION BY NEURAL NETWORKS

Olivera Laković, Novak Jauković, Budimir Lutovac,
Miloš Daković