

# Primjena vremensko-frekvencijskih transformacija na hidrometeorološke podatke

Tanja Rogać, Tijana Ružić, Miloš Daković

Elektrotehnički fakultet

Univerzitet Crne Gore

Podgorica, Crna Gora

tanja\_rogac@yahoo.com, ruzictijana@yahoo.com, milos@ac.me

**Sažetak** - Vremensko-frekvencijska analiza ima široku primjenu u obradi digitalnih signala. U ovome radu prikazana je primjena pomenute analize na hidrometeorološke podatke. Analizirani su podaci dobijeni direktno sa mjernih uređaja, u formi tekstualnih fajlova, kao i sredeni hidrometeorološki podaci iz Hidroloških godišnjaka. Prikazani su rezultati obrade podataka u formi grafika. Hidrometeorološki podaci su posmatrani kao slučajni signali.

**Ključne riječi**- vremensko-frekvencijska analiza; slučajni signali; hidrometeorološki signali;

## I. UVOD

Signal je svaki vremenski promjenljivi fizički fenomen ili pojava koja sa sobom nosi informaciju. Ovaj iskaz je djelimično tačan, jer vrlo često pod signalima podrazumijevamo i funkcije koje za nezavisnu promjenljivu nemaju vrijeme, a ponekada kao signale možemo posmatrati i kompleksne funkcije koje nisu u tijesnoj vezi sa fizičkim pojavama. Međutim, ono što svakako jeste zajedničko za sve ono što pod širokim pojmom signala podrazumijevamo, je informacija.

Vrijednosti i međusobne veze meteoroloških i hidroloških veličina zasnivaju se na fizičkim zakonima prirodnih pojava, pa bi se moglo pomisliti da se to pojavljivanje može definisati pomoću poznatih zakona. Međutim, redovno se radi o mnoštvu geografsko-fizičkih parametara koji učestvuju u formiranju konkretne pojave, a koji nam u kvantitativnom smislu, a ponekad ni teorijski, nisu poznati. Zbog toga se izmjereni pokazatelji meteoroloških i hidroloških pojava smatraju slučajnim signalima.

Vremensko-frekvencijska analiza je uvedena kao efikasno rješenje za karakterizaciju i obradu signala sa vremenski promjenljivim spektralnim sadržajem. U tu svrhu su predložene brojne vremensko-frekvencijske distribucije [1] - [3].

Posljednjih godina porastao je interes za primjenu Wavelet analize na hidrometeorološke signale. Wavelet transformacije su se pokazale kao koristan alat za proučavanje trendova i klimatskih promjena hidroloških i meteoroloških vremenskih serija [4]. Interesantan pristup analizi hidrometeoroloških podataka baziran na Wavelet analizi je dat u [5].

Postavlja se pitanje kakvi bi se rezultati dobili primjenom standardnih vremensko-frekvencijskih transformacija, kakva je

na primjer Kratkotrajna Fourier-ova transformacija. Cilj ovog rada jeste napraviti kratak teorijski osvrt na vremensko-frekvencijsku analizu signala [1,2], kao i primijeniti istu na dostupne, konkretne, hidrometeorološke podatke.

## II. VREMENSKO FREKVENCIJSKA ANALIZA SIGNALA

Predstavljanje signala kao funkcije vremena je prvi i najprirodniji način za njegovu prezentaciju, budući da su gotovo svi signali koji su posljedica prirodnih fenomena snimljeni kao funkcija vremena. Analiza signala u vremenskom domenu ima ograničenu praktičnu primjenu jer se informacije koje se na taj način mogu dobiti uglavnom svode na promjenu amplitude u toku vremena, kao i na neke, najčešće, površne informacije o spektralnom sadržaju. Predstavljanje signala u frekvencijskom domenu, dobijeno Fourier-ovom transformacijom, bitna je alatka za opisivanje signala, jer se na taj način signal razlaže na pojedinačne frekvencijske komponente. Dvije izuzetno važne relacije definišu Fourier-ovu transformaciju:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) e^{j\omega t} dt \quad (1)$$

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

Signal  $x(t)$  i funkcija  $X(j\omega)$  se nazivaju Fourier-ov transformacioni par, pri čemu se prva relacija naziva sintetičkom jednačinom Fourier-ove transformacije, a druga relacija analitičkom jednačinom.

Međutim, proučavanjem ovako dobijenog spektra signala može se zaključiti samo na kojim frekvencijama postoje komponente u njemu, dok se ne obezbjeđuje nikakva informacija o tome u kojim trenucima su te komponente prisutne, kao ni koliki je interval njihovog trajanja. Može se zaključiti da je FT pogodna za analizu signala čiji se spektralni sadržaj ne mijenja u toku vremena, tzv. stacionarni signali. U slučaju kada je signal sastavljen od više komponenti čiji se spektri preklapaju, na osnovu FT se ne može dobiti ni informacija o širini spektra pojedinih komponenti.

Ograničenja koja se javljaju u analizi signala samo u vremenskom ili samo u frekvencijskom domenu, nametnula su kao logično rješenje vremensko-frekvencijsku analizu signala

(time frequency signal analysis – TF analiza) odnosno analizu signala istovremeno i po vremenskom i po frekvencijskom domenu [2]. Vremensko-frekvencijska analiza signala obezbjeđuje moćne tehnike za ispitivanje zakonitosti po kojoj se frekvencijski sadržaj datog signala mijenja kao funkcija vremena.

Fourier-ova transformacija je najčešće korišćeno oruđe za analizu spektralnog sadržaja signala, tj. metod za prezentaciju kontinualnih signala preko niza koeficijenata, dobijenih analizom signala pomoću određene funkcije. Na njoj su zasnovane i ostale linearne transformacije poput kratkotrajne Fourier-ove Transformacije (STFT) i Wavelet transformacije (WT). Potom je došlo do generalizacije sa periodičnih na neperiodične funkcije, kao i do proširenje metoda na diskretne signale. Prva modifikacija FT bila je STFT, tj. predstavljanje signala pomoću oscilirajućih baznih funkcija u t-f ravni, te metoda za reprezentaciju energije signala u t-f ravni – Wigner-Ville-ova raspodjela. Na osnovu ovih transformacija razvio se i niz drugih koje su se razlikovale po odabiru prozora, prisustvu kros članova...

#### A. Kratkotrajna Fourier-ova transformacija

Kratkotrajana Fourier-ova transformacija [1,2,3] (Short Time Fourier Transform - STFT) je najčešće korišćena alatka za analizu signala sa vremenski varirajućim spektralnim sadržajem. STFT se zasniva na veoma jednostavnom konceptu. Ukoliko se želi analizirati spektralni sadržaj signala u određenom trenutku  $t$ , odsijeca se mali dio signala centriran oko tog trenutka i izračuna se njegova Fourier-ova transformacija. Vremensko-frekvencijska reprezentacija se dobija ponavljanjem navedenog postupka za svaki trenutak. Analitički, izraz za STFT je:

$$STFT(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t + \tau)w^*(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (3)$$

gdje je  $w^*(t)$  funkcija prozora upotrebljena za “odsijecanje” dijela signala za koji se u jednom trenutku računa FT.

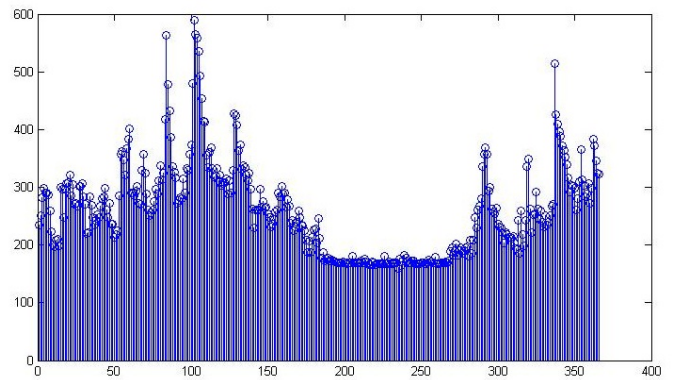
U numeričkim proračunima, vrlo često je potreban diskretizovani oblik Kratkotrajne Fourier-ove transformacije. Odabiranjem signala po vremenu sa korakom odabiranja  $\Delta t$  dobijamo:

$$\begin{aligned} STFT_a(t, \omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t + \tau)w(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau \cong \\ &\cong \sum_{m=-\infty}^{\infty} x((n+m)\Delta t)w(m\Delta t)e^{-jm\Delta t\omega} \Delta t \end{aligned} \quad (4)$$

Označavajući  $x(n) = x(n\Delta t)\Delta t$  i normalizacijom frekvencije, dobijamo diskretni oblik STFT:

$$STFT(n, \omega) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} w(m)x(n+m)e^{-jm\omega} \quad (5)$$

Pri tome važi da je  $STFT(n, \omega)$  periodična po frekvenciji sa periodom  $2\pi$ .



Slika 1. Signal vodostaja u periodu od 365 dana izmjereno na hidrološkoj stanici Bačevići



Slika 2. Lokacije HS stanica, preuzete sa Google Earth-a

### III. PRIPREMA PODATAKA ZA ANALIZU

Pod hidrološkim i meteorološkim signalima se podrazumjeva sve ono što se u hidrologiji i meteorologiji može izmjeriti i izraziti brojem (vodostaji, protoci, temperatura, padavine itd).

Kao prvi primjer signala posmatraćemo signal prikazan na slici 1. On predstavlja izmjerene srednje dnevne vrijednosti vodostaja (izraženo u centimetrima) na hidrološkoj stanici Bačevići u periodu od jedne godina, tj. 365 dana. Ovakav prikaz signala je od velikog značaja za npr. inženjera hidrologije, takođe i za npr. radnika na zaštiti od poplava, važan je i za inženjera melioracija jer oni mogu pratiti i predvidjeti nivo vode u rijeci za navodnjavanje i odvodnjavanje i tako dalje.

Ovakav signal se naziva diskretnim u vremenu, jer je on definisan samo u diskretnim vremenskim trenutcima, kao što su u ovom slučaju dani. Bez obzira na to što je vrijeme kontinualna funkcija ovaj signal je diskretni, jer mi mjerenja vršimo u fiksnim intervalima mjerenja.

Podaci su preuzeti od Agencije za vode Jadranskog mora. Stanice sa kojih su prikupljeni podaci korišćeni u istraživanju nalaze se na lokacijama prikazanim na slici 2.

Podaci se prikupljaju pomoću softvera OTT hydras. OTT hydras je komunikacijski softver, osnovna funkcija mu je prikupljanje podataka sa udaljenih mjernih stanica preko modema. Format podataka direktno preuzet sa softvera je txt fajl, i pogodan je za digitalnu obradu. Radi lakše obrade txt fajlovi su sređivani prije upotrebe, tj. vršeno je otklanjanje slučajnih grešaka i priprema za dalju digitalnu obradu.

Za potrebe dalje analize pomoću vremensko-frekvencijskih distribucija i vremensko-frekvencijskih reprezentacija mi smo koristili sredene podatke, tj. podatke koji su obrađeni za potrebe sastavljanja Hidrološkog godišnjaka [6]-[11]. Agencija nadležna za prikupljanje pomenutih podataka nam ih je dostavila u Excel (xls) formatu, ali zbog potrebe vremensko-frekvencijske analize izvršili smo formatiranje podataka u txt fajlove. Pomenuti txt fajlovi su organizovani kao vektori kolone. Svaki element vektora kolone označava srednju dnevnu vrijednost vodostaja (u cm) za odgovarajuću stanicu. Obrađeni su sljedeći intervali podataka:

- HS Bačevići (srednja dnevna vrijednost vodostaja za 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 i 2009 godinu)
- HS Gabela (srednja dnevna vrijednost vodostaja za 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 i 2009 godinu)
- HS Mostar (srednja dnevna vrijednost vodostaja za 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 i 2009 godinu)
- HS Žitomislići (srednja dnevna vrijednost vodostaja za 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 i 2009 godinu)

Ove stanice su izabrane zbog svog geografskog rasporeda te mogućnosti međusobne interpolacije podataka, što će biti od značaja u kasnijim radovima.

Takođe su obrađeni sirovi podaci sa automatske hidrološke stanice Mostar. Pod izrazom „sirovi podaci“ smatraju se podaci direktno preuzeti sa uređaja za mjerenje (očitanje). Pošto je riječ o automatskim stanicama to su podaci preuzeti iz baze softvera koji služi za prikupljanje podataka. Radi analize te vrste podataka preuzeli smo podatke sa hidrološke stanice Mostar. Sirovi podaci se pohranjuju u formi txt i xls fajlova čiji su primjeri dati u tabeli 1.

Iz navedenih primjera vidimo da se očitavanje podataka vrši na svako pola sata. Raspoložemo sa podacima od 01.01.2004. godine do 18.01.2012. godine. Ovaj oblik podataka je pogodan za digitalnu obradu, naravno uz prilagođavanje osa za taj prikaz. Tokom istraživanja smo implementirali metode za učitavanje podataka i prilagodbu podataka za vremensko – frekvencijsku analizu.

#### IV. PRIMJENA VREMENSKO-FREKVENCIJSKE ANALIZE NA HIDROMETEOROLOŠKE SIGNALE

Teorijski gledano ovo je primjena navedenih distribucija na slučajne signale, jer je priroda obrađivanih signala stohastička.

U cilju istraživanja izvršena je primjena STFT transformacija na sirovim podacima sa automatske hidrološke stanice Mostar. Podaci su direktno preuzeti iz baze podataka softvera OTT hydras i kao što je već pomenuto u formi su txt fajla. Prilikom primjene vremensko-frekvencijske analize na

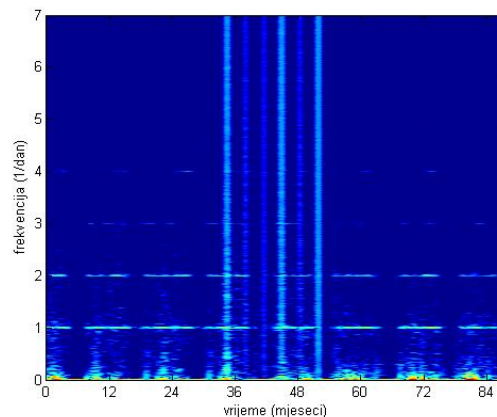
pomenuti niz mjerenja dobijeni su karakteristični rezultati. Kao što je vidljivo sa spektrograma na slici 3. imamo pojavu tzv. karakterističnih pikova.

Detaljnijom analizom dobijenih rezultata ustanovljeno je da su pikovi u stvari posljedice greške mjernog uređaja u pojedinim trenucima. Naime na mjernom mjestu zabilježen je rezultat koji predstavlja mjerenja u iregularnim trenucima (nisu mjerenja na pola sata), te je takva mjerenja bilo potrebno ukloniti. Takođe prikazana vrijednost vodostaja u navedenim iregularnim trenucima je ogromna, te kao takva fizički nije moguća na navedenom mjernom profilu. Uklonjena mjerenja su data u tabeli 2.

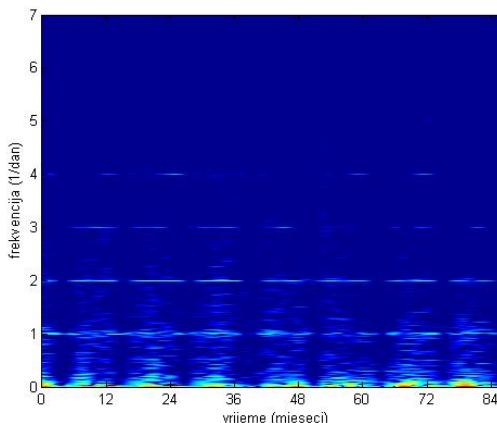
Ponovnom primjenom korigovanog niza podataka dobijamo spektrogram kao na slici 4. Značajno je pomenuti i pojavu periodičnosti na dnevnom nivou. Ova periodičnost je u pojedinim jasno vidljiva na slikama 3 i 4 pri čemu se takođe primjećuje da se je dnevna periodičnost nestacionarna, odnosno da zavisi od vremena.

Tabela 1: Primjer organizacije dijela xls fajla (vodostaj)

<i>datum i vrijeme očitavanja</i>	<i>vrijednost očitavanja</i>
1.1.2004 0:30	251
1.1.2004 1:00	290
1.1.2004 1:30	307
1.1.2004 2:00	267



Slika 3. Spektrogram podataka sa HS Mostar

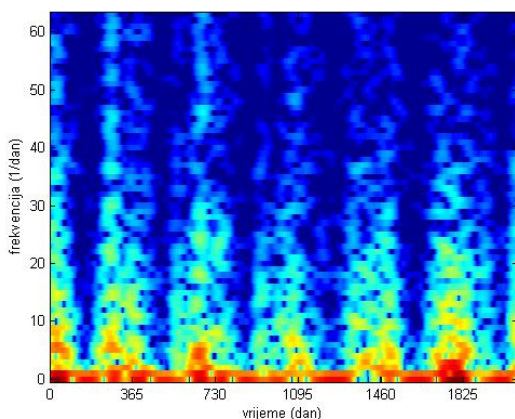


Slika 4. Spektrogram korigovanih podataka sa HS Mostar

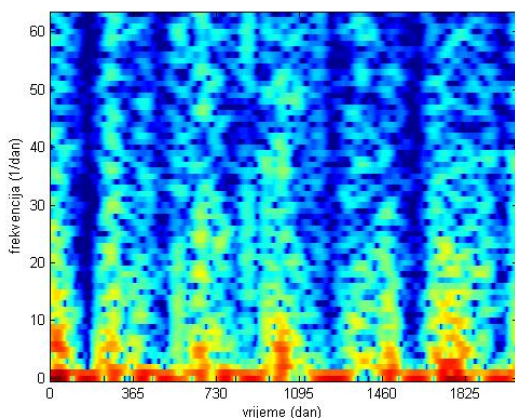


Tabela 2: Uklonjena mjerenja

02.01.2007;12:18;23562  
 19.04.2007;11:52;12042  
 04.08.2007;11:27;12042  
 19.11.2007;11:02;23562  
 05.03.2008;10:36;12042  
 20.06.2008;10:11;23562



Slika 5. Spektrogram podataka sa HS Gabela



Slika 6. Spektrogram obrađenih podataka sa HS Mostar

Spektrogrami obrađenih podataka iz Hidrometeoroloških godišnjaka za hidrološke stanice Gabela i Mostar su dati na slikama 5 i 6. U pitanju su podaci koji prikazuju srednju dnevnu vrijednost vodostaja u toku šest godina mjerenja. Uočljiva je razlika u spektrogramu sirovih i obrađenih podataka iz Hidroloških godišnjaka. Radi poređenja ponašanja spektrograma primjenili smo vremensko-frekvencijsku analizu na „sirove“ i obrađene podatke hidrološke stanice Mostar. Rezultati su prikazani na slikama 4 i 6.

## V. ZAKLJUČAK

Ideja vodilja za primjenu vremensko-frekvencijske analize podataka je bila da pokušamo uočiti karakteristična ponašanja preko vremensko frekvencijskih reprezentacija posmatranih signala. Primjena vremensko-frekvencijske analize se pokazala korisnom prilikom uočavanja grešaka na mjerenim veličinama. Takođe smo pokazali uticaj obrade, tj. usrednjavanja

vrijednosti podataka mjerenih na svako pola sata na jednu srednju dnevnu vrijednost, na spektrogram signala. Očigledno je gubljenje detalja i informacija na spektrogramima.

Korišćenje Kratkotrajne Fourier-ove transformacije otvara put za primjenu naprednih vremensko-frekvencijskih tehnika (na primjer S-metoda [2]) nad podacima, što će biti tema u narednim istraživanjima.

## ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se Agenciji za vodno područje Jadranskog mora – Mostar, na ustupljenim podacima.

## LITERATURA

- [1] L.J. Stanković, *Digital Signal Processing with Selected Topics*. CreateSpace Independent Publishing Platform, An Amazon Company, November, 2015
- [2] L.J. Stanković, M. Daković, and T. Thayaparan, *Time-Frequency Signal Analysis with Applications*. Artech House, Boston, March 2013
- [3] Irena Orović, *Visoko koncentrisane vremensko-frekvencijske distribucije i neki aspekti primjene*, doktorska teza, Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, Podgorica 2009
- [4] Ram Chandra Singh, Rajeev Bhatla, "Wavelets in Meteorology," *AIP Conf. Proc.* Vol. 1463. 2012.
- [5] Turgay Partal , "Wavelet analysis and multi-scale characteristics of the runoff and precipitation series of the Aegean region (Turkey)", *Internationa. Journal on Climatology*, 32 (2012): pp. 108–120. doi:10.1002/joc.2245
- [6] Hidrološki godišnjak 2004, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo , „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2007
- [7] Hidrološki godišnjak 2005, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo , „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2008
- [8] Hidrološki godišnjak 2006, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo , „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2009
- [9] Hidrološki godišnjak 2007, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo , „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2011
- [10] Hidrološki godišnjak 2008, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo , „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2012
- [11] Hidrološki godišnjak 2009, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo , „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2013

## ABSTRACT

Time-frequency analysis is widely used in digital signal processing. This paper shows the application of the above analysis to hydrometeorological data. We analyzed the data obtained directly from measurement devices, in the form of txt files, as well as arranged hydrometeorological data from the Hydrological Yearbook. The results of data processing are in the form of graphics. Hydro-Meteorological data are considered as random signals.

## TIME-FREQUENCY TRANSFORMS APPLIED TO THE HYDROMETEOROLOGICAL DATA

Tanja Rogač, Tijana Ružić, Miloš Daković