

# HARDVERSKA REALIZACIJA DISTRIBUCIJA BAZIRANIH NA KORIŠĆENJU AMBIGUITY DOMENA

*Irena Orović\*, Branka Jokanović\*\*, Srdjan Stanković\*\*\**

*Ključne riječi : vremensko-frekvencijsko predstavljanje signala, ambiguity domen, distribucije iz Cohen-ove klase, hardverska realizacija*

**Sažetak :** U radu je opisana FPGA realizacija distribucije koja je, po ugledu na distribucije koje pripadaju Cohen-ovoj klasi, zasnovana na korišćenju ambiguity domena. U ambiguity domenu moguća je potpuna ili djelimična redukcija kros članova koji se javljaju u Wigner-ovoj distribuciji. Za vremensko-frekvencijske distribucije bazirane na ambiguity domenu predloženo je optimizovano hardversko rjesenje.

## 1. UVOD

Analiza signala u frekvencijskom domenu pruža informaciju o spektralnom sadržaju signala, tj. daje pregled svih spektralnih komponenti koje čine posmatrani signal. Međutim, za nestacionarne signale kod kojih se frekvencijske komponente mijenjaju tokom vremena, analiza u frekvencijskom domenu ne definiše vremenske trenutke pojavljivanja komponenti. Da bi se riješio ovaj problem, uvedene su vremensko-frekvencijske distribucije. Jedna od najčešće korišćenih vremensko-frekvencijskih distribucija je Wigner-ova distribucija koja obezbjeđuje dobru koncentraciju u vremensko-frekvencijskoj ravni, ali pokazuje veliki nedostatak u slučaju primjene na multikomponentne signale [1], [2]. Naime, Wigner-ova distribucija zbog svoje kvadratne prirode proizvodi kros članove kod multikomponentnih signala. U cilju smanjenja broja kros članova ili njihovog potpunog eliminisanja često se koriste distribucije iz Cohen-ove klase [3]. Za definisanje distribucija iz ove klase, potrebno je naći ambiguity funkciju signala.

---

\* Doc. dr Irena Orović, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Džordža Vašingtona b.b. 81000 Podgorica.

\*\* Spec. sci Branka Jokanović, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Džordža Vašingtona b.b. 81000 Podgorica.

\*\*\* Prof. dr Srdjan Stanković, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Džordža Vašingtona b.b. 81000 Podgorica.

Za signal  $x(t)$  ambiguity funkcija se definiše kao dvodimenziona Fourier-ova transformacija Wigner-ove distribucije:

$$A(\theta, \tau) = FT_{t, \omega}\{WD(t, \omega)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t + \frac{\tau}{2})x^*(t - \frac{\tau}{2})e^{-j\theta t} dt. \quad (1)$$

Raspored auto članova i kros članova u ambiguity domenu se razlikuje u odnosu na vremensko-frekvencijski domen. U slučaju signala čije su glavne komponente na nižim frekvencijama, auto članovi će biti locirani oko koordinatnog početka i  $\theta$  i  $\tau$  osa, za razliku od kros članova koji će biti udaljeni od osa. Ovakav raspored pruža mogućnost izdvajanja auto članova upotrebom odgovarajućeg jezgra  $c(\theta, \tau)$ . Osobine distribucije će zavistiti od osobina izabranog jezgra. Međutim, nemaju svi signali u potpunosti odvojene auto i kros članove. Stoga, usljed ukljanjanja kros članova može doći do oštećenja auto članova. Optimalan izbor jezgra treba da obezbijedi dobar kompromis između eliminisanja kros članova i očuvanja koncentracije auto članova.

Dakle, distribucije iz Cohen-ove klase zasnovane su na funkciji  $A_g(\theta, \tau) = A(\theta, \tau)c(\theta, \tau)$ . Konačna forma distribucije u vremensko-frekvencijskom domenu se dobija primjenom dvodimenzione inverzne Fourier-ove transformacije (2D IFFT):

$$CD(t, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c(\theta, \tau)A(\theta, \tau)e^{-j\theta t - j\omega\tau} d\tau d\theta. \quad (2)$$

Vremensko-frekvencijske distribucije, među kojima su i distribucije iz Cohen-ove klase često se koriste u aplikacijama u kojima je neophodno da se analiza signala odvija u realnom vremenu. Primjeri nestacionarnih signala koji zahtjevaju obradu u realnom vremenu su seizmički, radarski i EKG signali. Analiza radarskih i sonarskih signala u realnom vremenu je neophodna u bezbjedonosnim sistemima koji se mogu nalaziti na zemlji, u vazduhu ili u svemiru [4], [5]. Prioritet modernih sistema za analizu zemljotresa je pružanje informacije o parametrima zemljotresa u što kraćem vremenu [6]. EKG je još jedna vrsta nestacionarnih signala čija je brza obrada neophodna u cilju pravovremenog ukazivanja pomoći pacijentu [7]. Pri implementaciji hardverskih rješenja mora se voditi računa o optimizaciji resursa, odnosno o broju raspoloživih pinova i brzini rada same aplikacije. Napomenimo da postoje razna rješenja za hardversku realizaciju spektrograma i Wigner-ove distribucije [4]- [10].

U ovom radu predložena je hardverska implementacija vremensko-frekvencijske distribucije koja u ambiguity domenu smanjuje uticaj kros članova koji se javljaju kod Wigner-ove distribucije.

Rad je organizovan na sljedeći način. U drugom poglavlju rada analizirana je diskretna forma klase Cohen-ovih distribucija i definisano je jezgro, pa samim tim i distribucija koja se

realizuje. Hardverske realizacije ambiguity funkcije, funkcije  $A_g(\theta, \tau)$  kao i same distribucije su date u trećem poglavlju rada. Simulacioni rezultati su prikazani u četvrtom poglavlju rada, dok je u petom poglavlju zaključak.

## 2. DISKRETNNA FORMA DISTRIBUCIJE IZ COHEN-OVE KLASE

Hardverska implementacija neke funkcije na FPGA ploči zahtijeva korišćenje njene diskretne forme. Diskretna forma Cohen-ove klase distribucija se može dobiti polazeći od kontinualnog oblika:

$$CD(t, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c(\theta, \tau) x(u + \frac{\tau}{2}) x^*(u - \frac{\tau}{2}) e^{-j\theta u} e^{-j\theta t} e^{-j\omega \tau} du d\tau d\theta. \quad (3)$$

Uvođenjem smjene  $\frac{\tau}{2} = \rho$  dobija se sljedeći izraz:

$$CD(t, \omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c(\theta, \rho) x(u + \rho) x^*(u - \rho) e^{-j\theta u} e^{-j\theta t} e^{-j2\omega \rho} du d\rho d\theta. \quad (4)$$

Odabiranjem signala sa periodom  $\Delta t$ , pri čemu se uzima konačan broj odbiraka  $N$  za signal i zapisujući frekvenciju kao

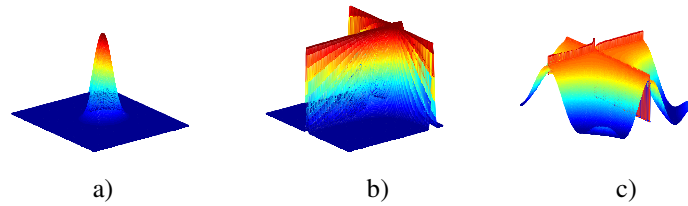
$$\omega = \frac{2\pi k}{2N_p},$$

dobija se diskretna forma u vremenu i u frekvenciji:

$$CD(l, k) = \sum_{p=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} \sum_{m=-\frac{N_p}{2}}^{\frac{N_p}{2}} \sum_{n=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} c(p, m) x(n+m) x^*(n-m) e^{-j\frac{2\pi}{N}pn} e^{-j\frac{2\pi}{N}pl} e^{-j\frac{2\pi}{N_p}km}, \quad (5)$$

gdje je  $N_p+1$  broj odbiraka unutar pravougaonog prozora koji se koristi za računanje funkcije momenta signala  $M(n, m) = x(n+m)x^*(n-m)$ .

U okviru Cohen-ove klase koriste se različite forme jezgara među kojima su Gauss-ovo jezgro, Choi-Williams-ovo jezgro, Born-Jordan i Sinc jezgro. Ilustracije nekih jezgara koja se često koriste su date na Slici 1.



Slika 1. a) Gauss-ovo jezgro, b) Choi-Williams-ovo jezgro, c) Born-Jordan jezgro

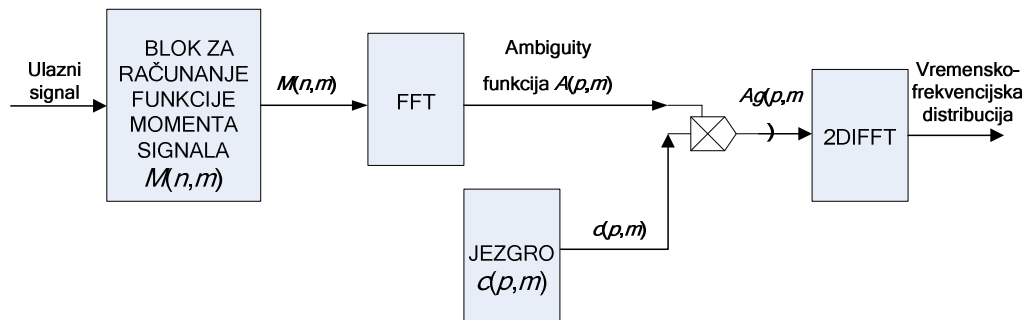
U cilju pojednostavljenja realizacije distribucije koristićemo modifikovanu i pojednostavljenu verziju jezgra. Naime, funkciju jezgra možemo definisati na način da eliminiše sve komponente u ambiguity domenu koje nisu locirane u blizini osa  $p$  i  $m$ . Analitički oblik ovakvog jezgra može se zapisati kao:

$$c(p,m) = \begin{cases} 1, p = -i, \dots, i \text{ ili } m = -j, \dots, j \\ 0, \text{ostalo} \end{cases} \quad (6)$$

gdje  $i$  i  $j$  imaju cjelobrojnu vrijednost.

### 3. HARDVERSKA REALIZACIJA VREMENSKO-FREKVENCIJSKE DISTRIBUCIJE

Na Slici 2 dat je šematski prikaz realizacije predložene distribucije.



Slika 2. Šema realizacije sistema

U bloku **FFT** se računa brza Fourier-ova transformacija funkcije momenta signala  $M(n,m)$ . Na izlazu bloka dobijamo ambiguity funkciju  $A(p,m)$ . Množenjem ambiguity funkcije sa funkcijom jezgra  $c(p,m)$  dobijamo funkciju  $A_g(p,m)$  koja ulazi na blok **2DIFFFT**. Ovaj blok vrši

dvodimenzionu Fourier-ovu transformaciju i njegov izlaz predstavlja realizovanu vremensko-frekvencijsku distribuciju.

### 3.1 HARDVERSKA REALIZACIJA AMBIGUITY FUNKCIJE

Ambiguity funkcija se može posmatrati kao Fourier-ova transformacija funkcije momenta signala po promjenljivoj  $n$ :

$$A(p, m) = FT_n \{M(n, m)\} = FT_n \{x(n+m)x^*(n-m)\}. \quad (7)$$

Neka su na ulazu sistema dovedeni odbirci signala. Da bi dobili vrijednost ambiguity funkcije u tački  $(p, m)$  potrebno je pomnožiti komponente  $x(n-m)$  i  $x^*(n+m)$ , a zatim izvršiti Fourier-ovu transformaciju dobijenog proizvoda. Kako se Fourier-ova transformacija obavlja po promjenljivoj  $n$ , potrebno je znati vrijednost signala u svakom trenutku.

U cilju optimizacije hardverske realizacije, funkcija momenta signala  $M(n, m)$  se posmatra za fiksirani trenutak  $n_1$ . Naime, za neki vremenski trenutak  $n_1$  vrijednosti signala iz intervala  $[n_1, n_1+m]$  množe se sa konjugovanim vrijednostima iz intervala  $[n_1-m, n_1]$ ,  $m \in [-N_p/2, N_p/2]$ . Uzimajući u obzir različite vrijednosti parametra  $m$  možemo zaključiti da za fiksni trenutak  $n_1$  posmatramo interval  $[n_1-N_p/2, n_1+N_p/2]$ .

Prvi trenutak koji posmatramo je  $n_1=1+N_p/2$ , pa su članovi funkcije momenta signala  $M(N_p/2+1, m)$ :

$$\begin{aligned} M\left(\frac{N_p}{2}+1, -\frac{N_p}{2}\right) &= x(1)x^*(N_p+1), \\ M\left(\frac{N_p}{2}+1, -\frac{N_p}{2}+1\right) &= x(2)x^*(N_p), \\ &\vdots \\ M\left(\frac{N_p}{2}+1, \frac{N_p}{2}-1\right) &= x(N_p)x^*(2), \\ M\left(\frac{N_p}{2}+1, \frac{N_p}{2}\right) &= x(N_p+1)x^*(1). \end{aligned} \quad (8)$$

Matrica u kojoj su smješteni članovi funkcije momenta signala za sve trenutke se može zapisati kao:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} x(1)x^*(Np+1) & x(2)x^*(Np) & \dots & x(Np)x^*(2) & x(Np+1)x^*(1) \\ x(2)x^*(Np+2) & x(3)x^*(Np+1) & \dots & x(Np+1)x^*(3) & x(Np+2)x^*(2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x(N-Np)x^*(N) & x(N-Np+1)x^*(N-1) & \dots & x(N-1)x^*(N-Np+1) & x(N)x^*(N-Np) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Svaka vrsta odgovara jednom trenutku, a svaka kolona jednom pomjeraju.

Pretpostavljamo da na ulazu sistema imamo analitički signal  $x_i(n) = R_i(n) + jI_i(n)$ , gdje je  $R_i(n)$  realni dio signala u trenutku  $n$ , a  $I_i(n)$  imaginarni dio. Posmatrajmo prvi i zadnji član prve vrste matrice  $\mathbf{M}$ :

$$x(1)x^*(Np+1) = (R_1 + jI_1)(R_{Np+1} - jI_{Np+1}) = R_1R_{Np+1} + I_1I_{Np+1} + j(-R_1I_{Np+1} + R_{Np+1}I_1) \quad (10)$$

$$x(Np+1)x^*(1) = (R_{Np+1} + jI_{Np+1})(R_1 - jI_1) = R_1R_{Np+1} + I_1I_{Np+1} + j(R_1I_{Np+1} - R_{Np+1}I_1) \quad (11)$$

Primjetimo da oni imaju iste realne djelove, dok se imaginarni djelovi razlikuju po znaku. Isti zaključak se dobija za drugi i predzadnji član odnosno:

$$x(2)x^*(Np) = (R_2 + jI_2)(R_{Np} - jI_{Np}) = R_2R_{Np} + I_2I_{Np} + j(-R_2I_{Np} + R_{Np}I_2), \quad (12)$$

$$x(Np)x^*(2) = (R_{Np} + jI_{Np})(R_2 - jI_2) = R_2R_{Np} + I_2I_{Np} + j(R_2I_{Np} - R_{Np}I_2). \quad (13)$$

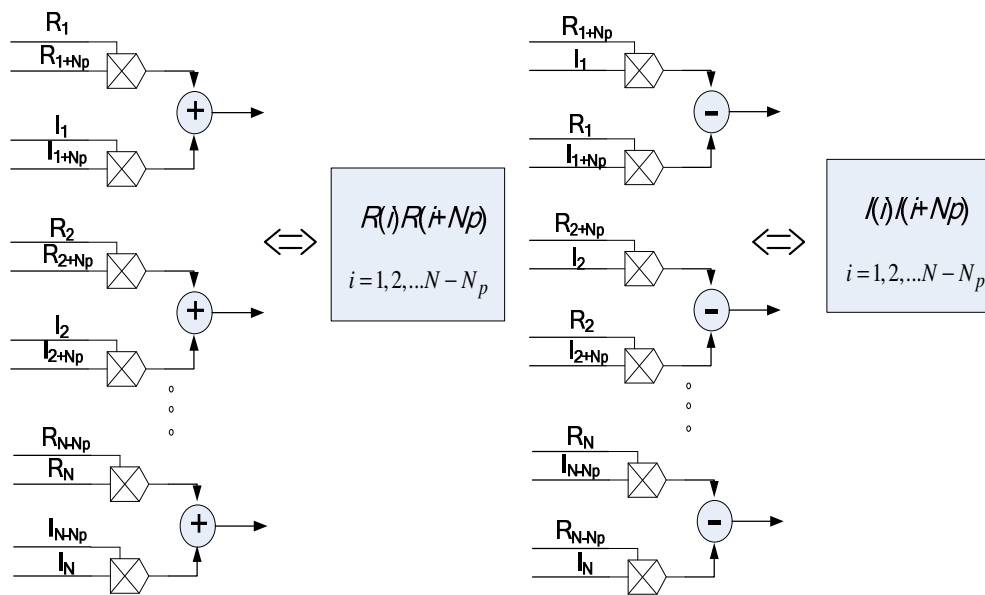
Dakle, polovina članova posmatrane vrste ima jednake realne djelove sa odgovarajućim članovima iz druge polovine vrste, dok im se imaginarni djelovi razlikuju po znaku. Zahvaljujući ovoj osobini vrste možemo smanjiti broj potrebnih operacija. Naime, dovoljno je izračunati realne djelove za prvu polovinu članova. Ova analiza važi i za ostale vrste koje odgovaraju trenucima  $n_2=2+Np/2$ ,  $n_3=3+Np/2$ , ... sve do zadnjeg trenutka  $n_{N-Np}=N-Np/2$ .

Za dobijanje ambiguity funkcije potrebno je izvršiti Fourier-ovu transformaciju po promjenljivoj  $n$ , odnosno nad kolonama matrice.

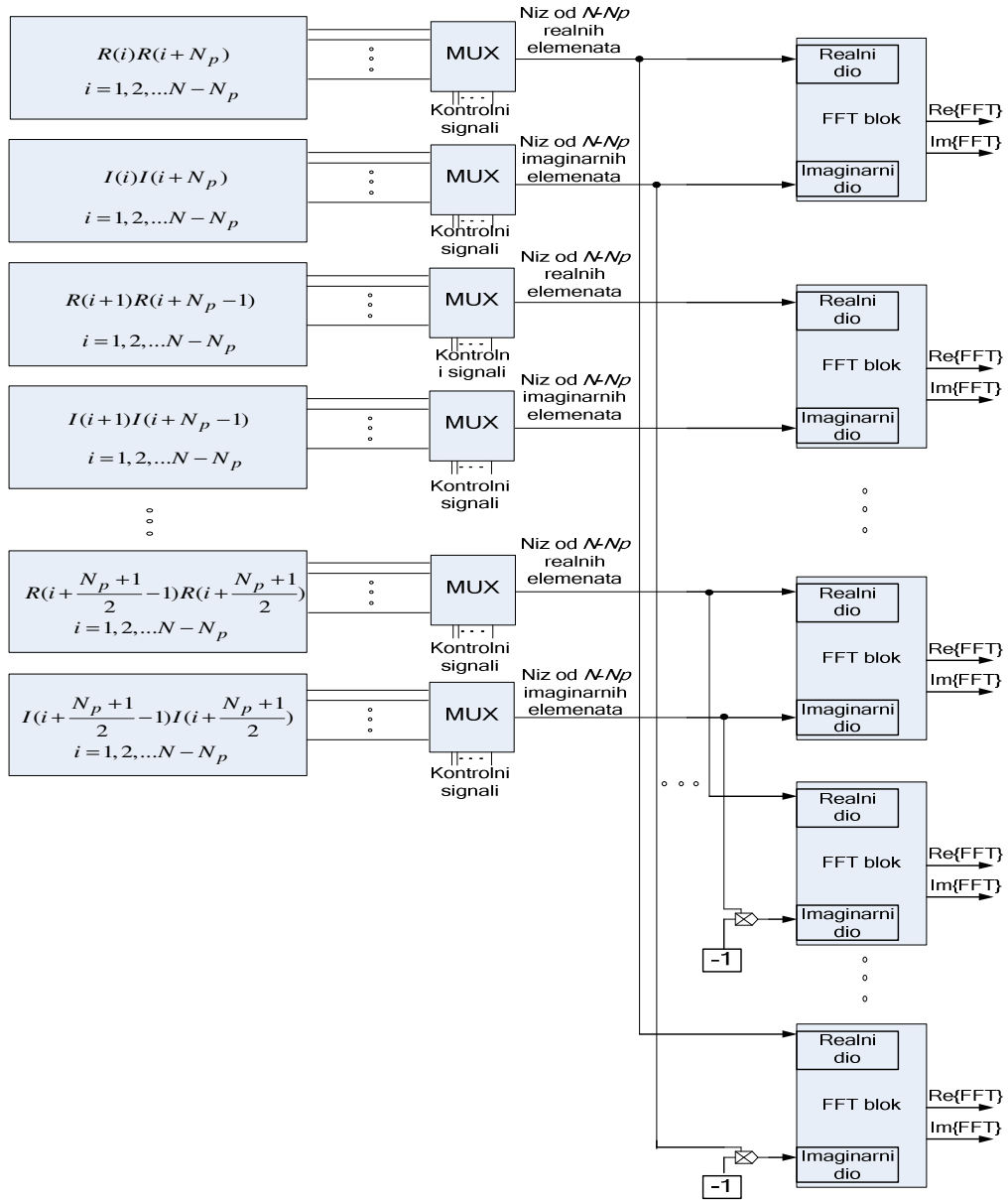
Šematski prikaz realizacije funkcije momenta signala dat je na slici 3, dok je na slici 4 šema realizacije ambiguity funkcije. Kako se na ulaz jednog FFT bloka serijski dovode odbirci ambiguity funkcije uvedeno je  $\mathbf{Mux}$  kolo koje od  $N-Np/2$  ulaza formira jedan niz.

FFT operacija se obavlja korišćenjem ugrađene komponente u Quartus-u. FFT blok pruža niz opcija kojima definišemo rad sklopa, kao na primjer odabir broja tačaka u kojima se vrši FFT,

broj bita kojima su predstavljeni odbirci, zatim mogućnost rada sa fixed ili floating point aritmetikom. Na slici 5 je prikazan blok koji računa Fourier-ovu transformaciju, dok je na slici 6 dat njegov simulacioni dijagram. FFT blok prikazan na slici 5 omogućava da u toku rada zadajemo broj tačaka za koje se obavlja Fourier-ova transformacija (variable streaming data flow). Zadavanje broja tačaka se obavlja preko pina *ffpts\_in[4.0]*. Maksimalan broj tačaka se zadaje pri parametrizaciji bloka i na taj način se određuje sa koliko se bita predstavlja *ffpts\_in*. Pin *inverse* služi da označi da li kolo obavlja direktnu ili inverznu Fourier-ovu transformaciju. *Sink\_sop*, odnosno *sink\_eop* označavaju prvi tj. zadnji odbirak niza nad kojim se vrši transformacija. *Sink\_valid* ima vrijednost logičke '1' dok traju odbirci niza. *Sink\_real* i *sink\_imag* predstavljaju realne i imaginarne djelove odbiraka niza koji dolaze na ulaz FFT bloka. Da bi blok ispravno funkcionisao, potrebno je da *sink\_error* bude '0' kao i da *source\_ready* bude jednak '1'. Realni i imaginarni djelovi izlaznog signala se dobijaju na pinovima *source\_real* i *source\_imag*, respektivno.

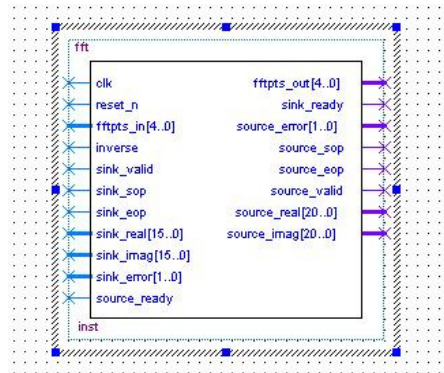


Slika 3. Šematski prikaz realizacije funkcije momenta signala

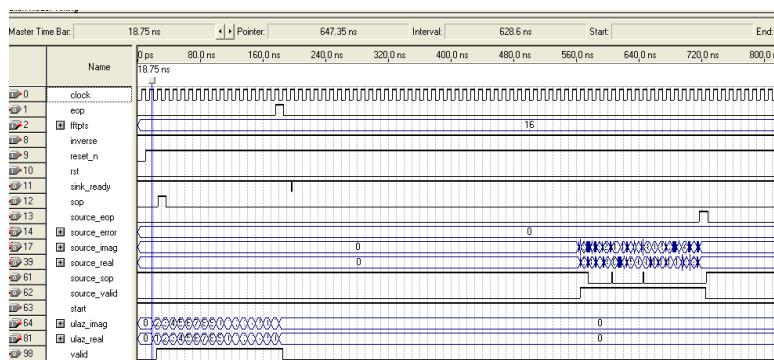


Slika 4. Šematski prikaz realizacije ambiguitetne funkcije





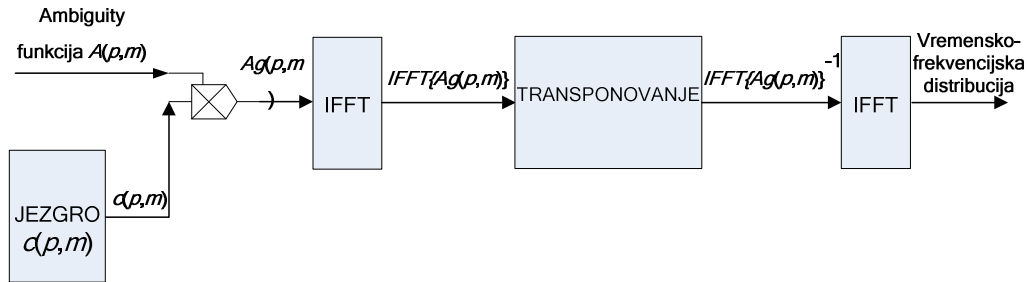
Slika 5. Blok koji računa FFT



Slika 6. Simulacija rada FFT bloka

### 3.2 HARDVERSKA REALIZACIJA PREDLOŽENE DISTRIBUCIJE

Šematski prikaz dijela sistema koji na ulazu ima odbirke ambiguity funkcije dat je na slici 7. Nakon ambiguity funkcije potrebno je realizovati funkciju  $A_g(p,m) = A(p,m)c(p,m)$ . Realizacija ove funkcije je izvršena na sljedeći način: u tačkama gdje jezgro ima vrijednost logičke "1" prosljeđena je odgovarajuća vrijednost ambiguity funkcije, dok je u tačkama gdje je jezgro jednako logičkoj nuli, izlaz kola koje računa  $A_g(p,m)$  postavljen na nulu.



Slika 7. Šematski prikaz dijela sistema na čijem izlazu se dobija predložena vremensko – frekvencijska distribucija

Za dobijanje distribucije potrebno je izvršiti transformaciju iz ambiguity domena u vremensko-frekvencijski domen, što se postiže korišćenjem dvodimenzionne inverzne Fourier-ove transformacije (2D IFFT). U Quartus-u ne postoji ugrađena 2D inverzna Fourier-ova transformacija, pa je realizacija izvršena kao kompozicija jednodimenzionnih IFFT. 2D IFFT od proizvoljne matrice  $\mathbf{B}$  se može zapisati kao:

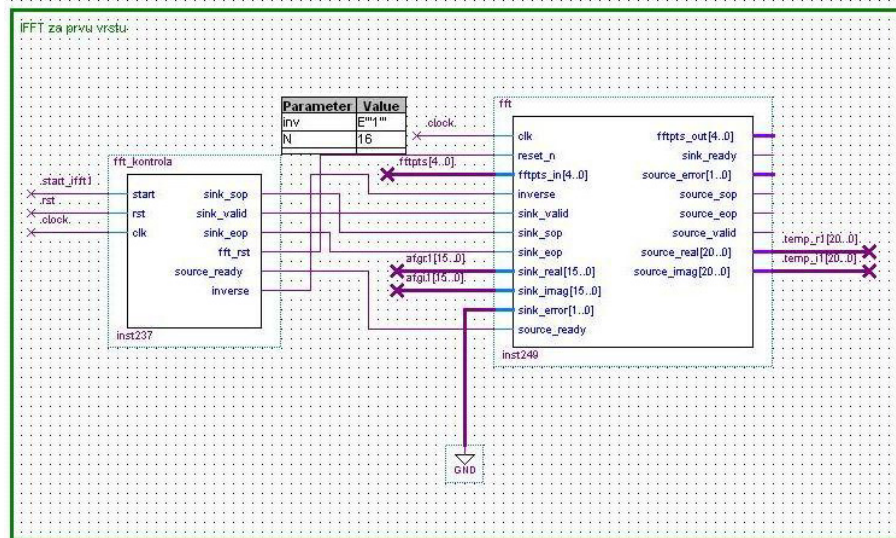
$$IFFT_2(\mathbf{B}) = IFFT(IFFT(\mathbf{B})^{-1})^{-1}. \quad (14)$$

Na ulaz ugrađenih FFT blokova dovode se paralelno vrste matrice. Dakle, postupak dobijanja 2D IFFT obuhvata sljedeće korake:

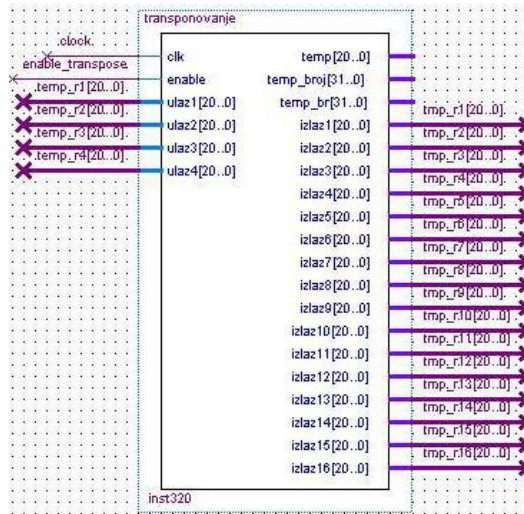
1. svaka vrsta matrice  $\mathbf{B}$  se dovodi na ulaz odgovarajućeg IFFT bloka,
2. izvrši se IFFT,
3. dobijeni nizovi se preslože u matricu koja se zatim transponuje,
4. vrste transponovane matrice se dovode na ulaz IFFT blokova i vrši se IFFT.

Na slici 8 dat je blok koji obavlja IFFT. Prikazano je i kolo koje generiše kontrolne signale potrebne za rad IFFT bloka. Ovi kontrolni signali imaju isto značenje kao i kontrolni signali za FFT kolo. Kolo za **transponovanje** (slika 9) uzima odbirke nizova nad kojima je izvršena IFFT i formira matricu koju zatim transponuje. Simulacija rada ovog bloka koji matricu 4x16 pretvara u matricu dimenzija 16x4 je prikazana na slici 10. U kolu za transponovanje (slika 9) postoje četiri ulaza. Ovi ulazi predstavljaju vrste matrice koju želimo transponovati. Sa simulacionog dijagrama uočavamo da izlaz dobijamo nakon učitavanja svih elemenata unutar vrste. Nakon transponovanja vrši se IFFT nad dobijenim vrstama transponovane matrice. Zadnji korak u dobijanju predložene distribucije bio bi još jedno transponovanje. Kako ta operacija utiče samo na prikaz rezultata, ali ne i na njegovu vrijednost nema potrebe za njenim izvršavanjem.

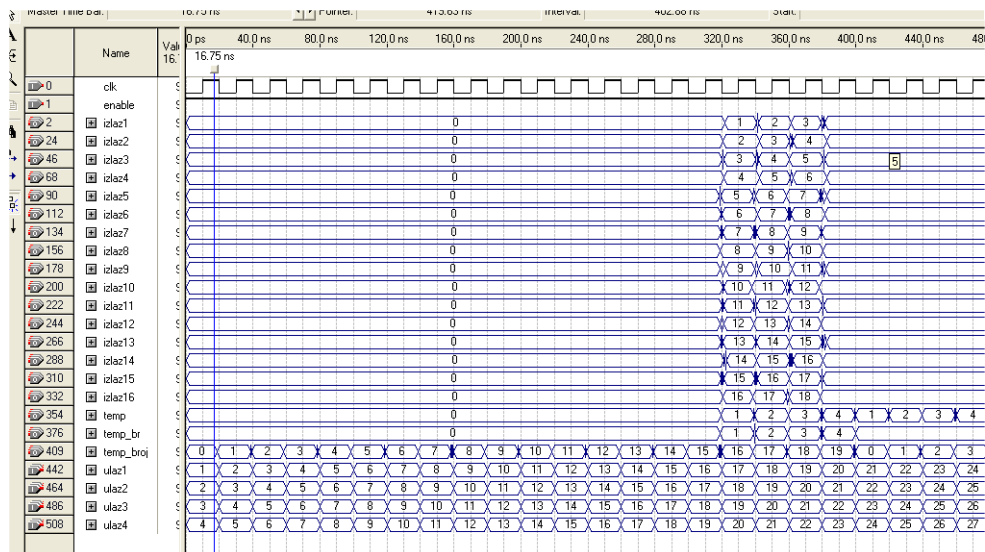
Na ovaj način smo realizovali predloženu vremensko-frekvencijsku distribuciju.



Slika 8. Dio sistema koji obavlja IFFT



Slika 9. Kolo za transponovanje



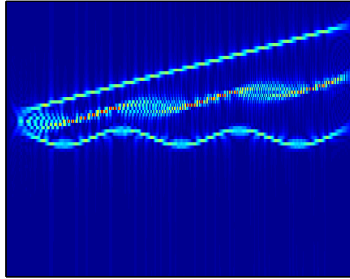
Slika 10. Simulacija bloka za transponovanje

#### 4. SIMULACIONI REZULTATI

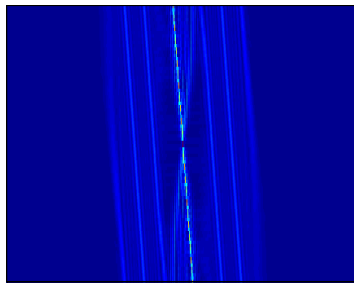
U ovom poglavlju rada prikazani su rezultati nastali testiranjem predloženog hardverskog rješenja za dva multikomponentna signala. Vizuelizacija rezultata je izvršena u Matlab-u. *Signal 1* : Posmatrajmo signal koji se sastoji iz dvije komponente. Njegov analitički oblik je :

$$x(t) = e^{0.3i(t+7)^2} + e^{3.1i \sin(0.2\pi t)}$$

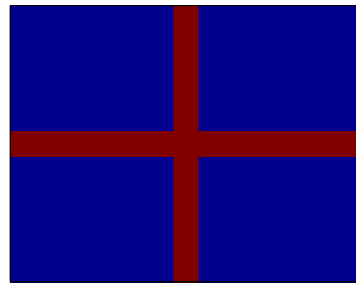
Na slici 11 data je Wigner-ova distribucija signala  $x(t)$ . Uočava se kros član na geometrijskoj sredini između dva auto člana.

Slika 11. Wigner-ova distribucija za signal  $x(t)$ 

Na slici 12.a) prikazana je ambiguity funkcija posmatranog signala. Za dati signal auto članovi su u ambiguity domenu koncentrisani oko osa. Korišćenjem jezgra koje je dato na slici 12.b) izdvojimo auto članove, ali i dio kros članova. Rezultujuća vremensko-frekvencijska distribucija je data na slici 13. Primjetimo da je u odnosu na Wigner-ovu distribuciju značajno redukovano prisustvo kros članova.

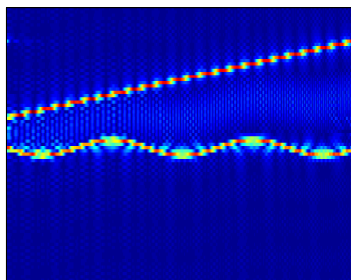


a)



b)

Slika 12. a) Ambiguity funkcija za signal  $x(t)$  i b) Realizovano jezgro

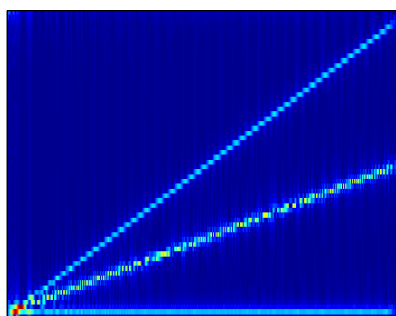


Slika 13. Realizovana vremensko-frekvencijska distribucija

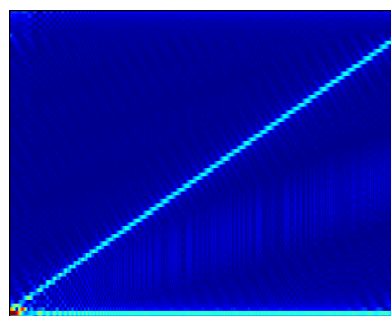
Signal 2 : Dat je signal  $x(t)$  koji se sastoji iz sinusoida i čirpa (chirp). Analitički oblik signala  $x(t)$  je :

$$x(t) = e^{i128\pi t} + e^{i256\pi t^2} .$$

Rezultati dobijeni korišćenjem realizovane distribucije su dati na slici 14.b. Realizovana distribucija značajno umanjuje kros članove koji postoje u Wigner-ovoj distribuciji (slika 14.a). Na slici 15.a prikazana je ambiguity funkcija za dati signal, a na slici 15.b jezgro. Sa slike 15. a primjećuje se da su auto članovi, ali i dio neželjenih kros komponenti locirani duž osa i u njihovoj blizini.

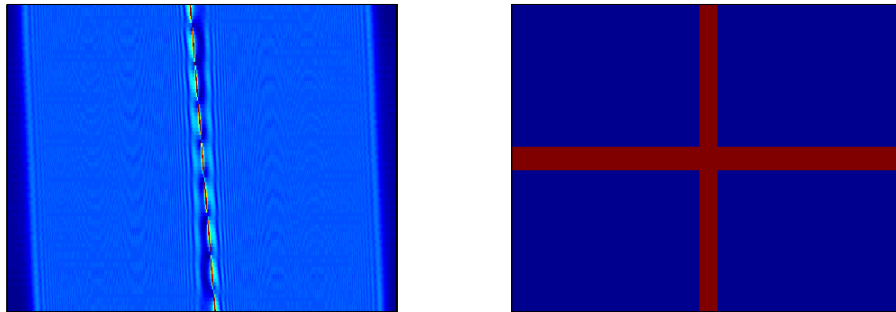


a)



b)

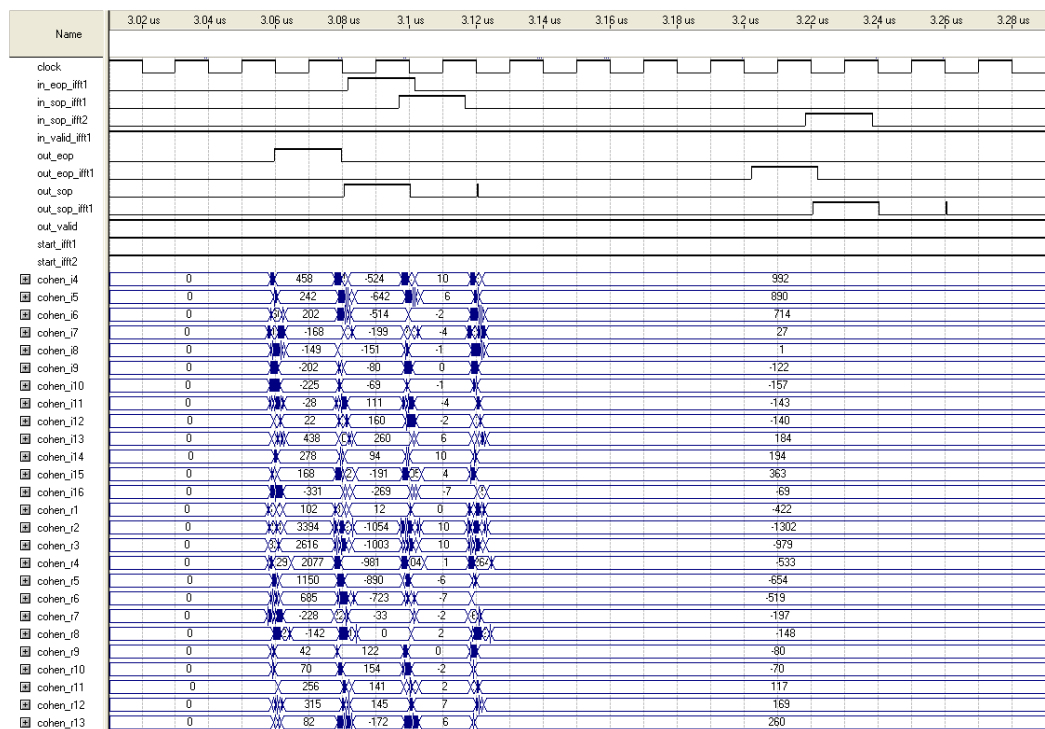
Slika 14. a) Wigner-ova distribucija i b) Realizovana distribucija za signal koga čine jedna sinusoida i jedan čirp



Slika 15. a) Ambiguity funkcija za signal koga čine jedna sinusoida i jedan čirp  
i b) Realizovano jezgro

Realizacija distribucije za testirane signale podrazumijeva velike vrijednosti za parametre  $N$  i  $Np$ , pa je zbog bolje preglednosti rada sistema na slici 16 dat simulacioni dijagram za hardversku realizaciju kod koje su parametri sistema :  $N=19$ ,  $Np=4$ . Prvi odbirak na izlazu dobijamo nakon  $3,06 \mu s$ . S obzirom da je u pitanju sistem sa malim brojem odbiraka, povećanjem broja odbiraka povećavamo broj komponenti kao i vrijeme izvršavanja. Međutim, kako je u pitanju paralelna realizacija kašnjenje prije svega zavisi od blokova u kojima ne možemo paralelno dovoditi ulaze. Takvi blokovi su FFT kola i oni unose najveće kašnjenje u sistemu. Kašnjenja FFT blokova su reda  $\mu s$ . Zahtjev aplikacija u realnom vremenu je da vrijeme generisanja izlaza mora biti dovoljno malo i u okviru dozvoljenih granica. Za većinu aplikacija ta granica je reda ms, pa zaključujemo da predloženo hardversko rješenje obezbjeđuje dovoljnu brzinu izvršavanja.

Za implementaciju distribucije korišćen je čip EP3SL340F1760C3 iz familije Stratix III. Simulacija je izvršena pomoću Quartus II v8.0 softvera na računaru sa 2GB RAM-a i procesorom Pentium 4 frekvencije 3,2GHz. U tabeli 1 date su neke od karakteristika korišćenog čipa. Možemo uočiti da je prisutna velika iskorišćenost čipa što je posljedica paralelne realizacije sistema.



Slika 16. Simulacioni dijagram za sistem sa sljedećim parametrima :  $N=19$ ,  $Np=4$

Tabela 1. Karakteristike čipa EP3SL340F1760C3

EP3SL340F1760C3	Broj pinova	Kombinaciona ALUT	Dedicated logic registers	Napajanje
Dostupno	1120	270,400	270,400	1.1 V
Iskorišćeno	1120(100%)	25,896(10%)	49,014(18%)	1.1 V

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena hardverska realizacija distribucije koja značajno redukuje uticaj kros članova koji se javljaju kod Wigner-ove distribucije. Ova distribucija predstavlja pojednostavljenu i modifikovanu verziju distribucije iz Cohen-ove klase. Cohen-ova klasa, kao jedan od alata vremensko-frekvencijske analize, zauzima važno mjesto u obradi signala. Predložena distribucija podrazumijeva korišćenje ambiguity funkcije, pa je prvi korak



realizacija ove funkcije za neki ulazni signal. Odgovarajuće jezgro oblikuje ambiguity funkciju i nad dobijenim rezultatom se izvršava 2D IFFT. Korišćeni oblik jezgra je pogodan za signale kod kojih se auto članovi nalaze u blizini osa i koordinatnog početka, što je i bio slučaj sa posmatranim multikomponentnim signalima. Vrijeme izvršavanja operacije je reda  $\mu\text{s}$ , što je svrstava u brze realizacije u poređenju sa današnjim hardverskim rješenjima koja se koriste u aplikacijama u realnom vremenu.

Proširenje sistema je moguće realizacijom drugih formi jezgara koja se koriste u Cohen-ovoj klasi.

## LITERATURA

- [1] B. Boashash, "Time-Frequency Signal Analysis," in S. Haykin, editor, *Advances in Spectral Estimation and Array Processing*, Prentice Hall, pp. 418-517, 1991.
- [2] L.J. Stanković, *Time Frequency Signal Analysis, Research monograph* 1993-2003.
- [3] L. Cohen, "Time-Frequency Distributions – A Review," *Proc. of the IEEE*, vol. 77, No. 7, pp. 941-981, 1989.
- [4] A. W. Rihaczek, "Delay-Doppler Ambiguity Function for Wideband Signals," *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, July 1967.
- [5] R. J. Purdy, P. E. Blankenship, C. E. Muehe, C. M. Rader, E. Stern, R. C. Williamson, "Radar Signal Processing," *Lincoln Laboratory Journal*, Vol. 12, No 2, 2000
- [6] L. Gutiérrez, J. Ramírez, J. Ibañez, C. Benítez, "Volcano-Seismic Signal Detection and Classification Processing Using Hidden Markov Models - Application to San Cristóbal and Telica Volcanoes, Nicaragua," *InTech*, April 2011.
- [7] J. Hori, Y. Saitoh, T. Kiryu, "Real-Time Restoration of Nonstationary Biomedical Signals under Additive Noises," *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, vol. E82-D, No.10, October 1999.
- [8] S. Stankovic, L.J. Stankovic, "An Architecture for the Realization of a System for Time-Frequency Signal Analysis," *IEEE Transaction on Circuits and Systems, Part II*, No.7, July 1997.
- [9] B. Boashash, P. J. Black, "An Efficient Real-Time Implementation of the Wigner-Ville Distribution," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-35, No. 11, November 1987.
- [10] M. Sun, C. C. Li, L. N. Sekhar, R. J. Scلابassi, "Efficient Computation of the Discrete Pseudo-Wigner Distribution," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 37, No. 11, November 1989.