

## PROJEKTNI ZADATAK

### Realizacija sistema za dodavanje i uklanjanje šuma iz signala

#### Potrebno predznanje

- Poznavanje programskog jezika C
- Uspešno urađene Vežbe 1-8 iz predmeta Osnovi algoritama i struktura DSP-a 1
- Generisanje elementarnih signala
- Upotreba Diskretne Furijeove transformacije za spektralnu analizu signala
- Diskretni filtri

#### Šta će biti naučeno tokom izrade vežbe

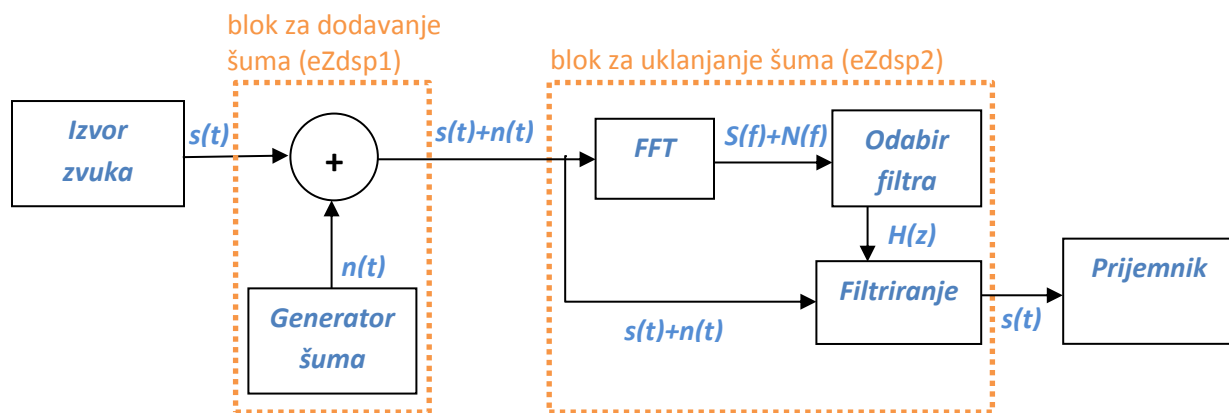
U okviru ove vežbe naučićete:

- Kako pristupati problemu projektovanja digitalnih sistema.
- Kako projektovati i realizovati praktični sistem sastavljen od blokova za digitalno procesiranje signala.
- Na koji način se vrši primena do sada naučenih algoritama digitalnog procesiranja signala (generatori diskretnih signala diskretnog vremena, algoritmi brze Furijeove transformacije, digitalni filtri) za realizaciju realnog sistema i kako se testira njihova funkcionalnost.
- Kako projektovati i realizovati algoritme digitalnog procesiranja signala u slučaju rada u realnom vremenu.
- Kako vršiti pretraživanje literature i nalaziti relevantne podatke za definisano polje naučnog interesa.

## 1 TEORIJSKE OSNOVE

Sistem koji je potrebno realizovati sastoji se iz 2 dela: bloka za dodavanje šuma u signal i bloka za uklanjanje šuma iz govornog zvučnog signala. Šum koji se dodaje u govorni signal jeste tzv. periodični šum. Periodični šum predstavlja jednu ili više sinusoidalnih komponenti koje se javljaju na određenim frekvencijama. Ovakav tip šuma najčešće javlja se u sistemima za obradu signala kao posledica spoljnog uticaja na komponente sistema. Jedan primer pojave ovakvog šuma u sistemima za obradu zvuka jeste pojava niskofrekventne komponente, frekvencije naizmenične struje (50Hz) kod pojačivačkih uređaja. Ovakav tip šuma najčešće se uklanja koristeći uskopojasni filter nepropusnik opsega (eng. *notch*).

Blok dijagram sistema prikazan je na slici 1. Sistem je potrebno realizovati koristeći dve TMS320C5535 eZdsp razvojne ploče. Izvor zvuka može biti PC računar ili mikrofonski uređaj. Signal  $s(t)$  koji je emitovan od strane izvora zvuka, predstavlja korisni signal u našem sistemu. Prva ploča, eZdsp1, povezana je sa izvorom zvuka koristeći dvokanalni *audio in* ulaz. Na eZdsp1 se izvršava blok za dodavanje šuma u signal. Izlaz iz sistema jeste signal u koji je dodat aditivni sinusoidalni šum  $s(t)+n(t)$ , i on je prosleđen na *audio out* izlaz na razvojnoj ploči. Druga razvojna ploča, eZdsp2 korsiti se za izvršavanje bloka za uklanjanje šuma. Ulaz *audio in* na eZdsp2 povezan je sa izlazom *audio out* na eZdsp1. Dakle, ulaz u sistem je signal sa prisutnim šumom. Izlaz iz sistema jeste filtriran korisni signal  $s(t)$ , i on je emitovan kroz *audio out* izlaz na razvojnoj ploči.



Slika 1 - Komunikacioni sistem dvotonskog prenosa

### 1.1 Blok za dodavanje šuma

U osnovi blok za dodavanje šuma se sastoji od jednog sabirača i jednog generatora sinusoidalnih signala koji su konačnog trajanja. Generator signala potrebno je implementirati koristeći tabelu pretraživanja koja sadrži samo vrednosti sinusa u prvom kvadrantu. Nakon svakog primljenog bloka odbiraka, generator signala generiše odbirke prostog sinusoidalnog signala zadate frekvencije i amplitude, jednake dužine kao i ulazni blok odbiraka. Generisani signal  $n(t)$  se sabira sa ulaznim signalom. Prilikom sabiranja signala neophodno je voditi računa o prekoračenju (klipovati signal).

Za potrebe ispitivanja sistema potrebno je omogućiti korisniku da odabere jednu od mogućih 4 frekvencije generisanog signala (zadate u Tabeli 1). Omogućiti odabir željene frekvencije koristeći tastere na razvojnoj ploči (pritisak tastera menja frekvenciju na sledeću u nizu).

## 1.2 Blok za uklanjanje šuma

Blok za uklanjanje šuma sastoji se iz dva dela: prepoznavanje frekvencije prisutnog šuma i filtriranje signala koristeći *notch* filter. U memoriju uređaja potrebno je smestiti unapred izračunate koeficijente 4 različita *notch* filtra. Nakon prepoznavanja frekvencije šuma u signalu, potrebno je na signal primeniti odgovarajući *notch* filter za potiskivanje te frekvencije.

### 1.2.1 Prepoznavanje frekvencije prisutnog šuma

S obzirom na prirodu govornog signala, pretpostavka je da u slučaju prisutnosti periodičnog šuma, upravo spektralna komponenta koja odgovara šumu ima najveću amplitudu. Kako bi se izvršilo određivanje frekvencije ove komponente neophodno je izvršiti spektralnu analizu signala. Prvi korak u bloku za uklanjanje šuma predstavlja računanje Diskretne Furijeove Transformacije nad ulaznim signalom. Pre samog računanja DFT neophodno je izvršiti prozoriranje signala koristeći zadatu prozorsku funkciju (Tabela 1). Nakon izračunavanja DFT, potrebno je izračunati amplitudski spektar i pronaći maksimalni koeficijent  $k$  u dobijenom nizu. Frekvencija  $f_k$ , koja odgovara indeksu  $k$  u spektru, dobija se sledećim izrazom:

$$f_k = \frac{kf_s}{N}, \quad \text{za } k = 0, 1, \dots, N-1,$$

gdje je  $f_s$  frekvencija odabiranja. U slučaju kada ulazni sinusni signal ima frekvenciju  $f_{k'}$  koja se razlikuje od frekvencije definisane prethodnom formulom, njegova DFT će sadržati značajne odbirke na poziciji  $k$  koje su blizu vrednosti

$$k' = \frac{Nf_{k'}}{f_s}$$

ali nenulte vrednosti (komponente) za ostale  $k$  vrednosti zbog preklapanja komponenti spektra.

U zavisnosti od prepoznate komponente potrebno je odabrati odgovarajući filter kojim će ulazni signal biti filtriran.

### 1.2.2 Filtriranje ulaznog signala

Za filtriranje signala koristiće se uskopojasni filter potiskivač opsega (*notch*), realizovan kao IIR filter drugog reda. Zadatak ovog filtra je da potisne signalnu komponentu određene frekvencije, dok sve ostale komponente treba da ostanu nepromenjene. Amplitudna karakteristika idealnog *notch* filtra data je sa:

$$A(f) = \begin{cases} 1, & f = f_0 \\ 0, & \text{ostalo} \end{cases}$$

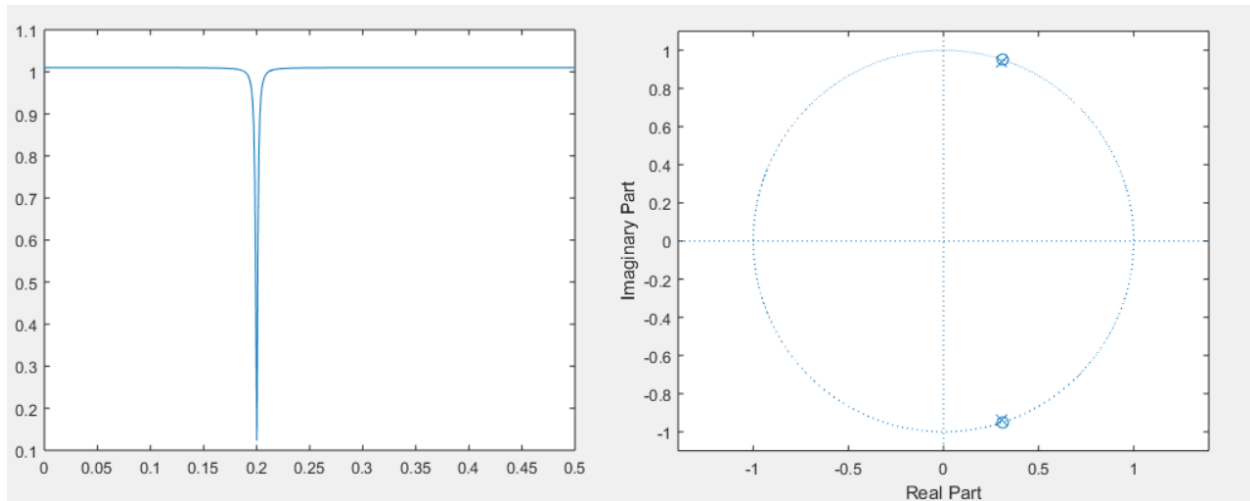
Nakon prepoznavanja frekvencije šuma, potrebno je odabrati odgovarajuće koeficijente za filtriranje, i filtrirati ulazni signal koristeći te koeficijente.

Kao što je pomenuto, neophodno je unapred izračunati koeficijente filtera za 4 moguće frekvencije koje je potrebno potisnuti. Jedan od načina za dizajn *notch* filtra, realizovanog kao IIR filter drugog reda, jeste

postavljanje konjugovanog para nula, koji odgovaraju zadatoj frekvenciji, na jedinični krug i konjugovanog para polova što bliže nulama, kako bi se obezbedio što uži nepropusni opseg. Koeficijenti takvog filtra dati su sa:

$$H(z) = \frac{1 - 2 \cos(2\pi f)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r \cos(2\pi f)z^{-1} + r^2 z^{-2}}$$

Gde  $f$  predstavlja normalizovanu frekvenciju komponente koju je potrebno potisnuti, a  $r$  udaljenost polova od koordinatnog početka ( $0 \leq r < 1$ ). Udaljenost  $r$  određuje širinu nepropusnog opsega (što bliže 1, to je opseg uži). Prenosna karakteristika, i raspored polova i nula za  $f = 0.2$  i  $r = 0.99$  dat je na slici 2.



Slika 2 – Prenosna karakteristika i raspored nula i plova za *notch* filter drugog reda ( $f=0.2$ ,  $r=0.99$ )

## 2 ZADATAK

Potrebno je realizovati opisani sistem za dodavanje i uklanjanje periodičnog šuma na TMS320C55x platformi. Projektni zadatak radi se u redovnom terminu vežbi. Projekat je izdijeljen na tri celine. Od studenta se očekuje da na kraju svakog termina za laboratorijske vežbe ima urađen deo projekta predviđen za izradu u tom terminu, a najkasnije do početka prvog narednog termina vežbi kada će biti pregledan. U poslednjem, četvrtom terminu potrebno je izvršiti povezivanje dve razvojne ploče, kao što je opisano u prvom poglavlju ovog dokumenta, i ispitati ispravnost sistema.

Projektni zadatak se radi i boduje **individualno**. Saradnja medju studentima nije dopuštena.

Nakon uspešno implementiranog rešenja zadatog problema, potrebno je napisati kratak izveštaj. Izveštaj se sastoji od najviše 5 strana uključujući naslovnu stranu i sadržaj. Prilikom izrade izveštaja studentima se ne dozvoljava da medjusobno sarađuju ni u kom pogledu.

Za pisanje izveštaja poželjno je koristiti šablon za ispitne zadatke sa sajta Katedre za računarsku tehniku i računarske komunikacije.

Naslovna stranica treba da sadrži: naziv fakulteta, ime usmerenja-katedre, naziv predmeta, naslov projekta, prezime i ime studenta, broj indeksa i datum podnošenja izveštaja. Nakon ove stranice sledi stranica sadržaja (spisak tabela, slika i skraćenica nisu obavezni i ne računaju se u pomenutih 5 strana).

Glavni deo izveštaja treba da počne postavkom problema koji se rešava, a zatim, u grubim crtama, sledi: opis arhitekture za koju je rešenje implementirano, opis pojedinih blokova, korišćeni algoritmi procesiranja signala, karakteristike procesiranih signala u vremenskom i frekventnom domenu i dobijeni rezultati. **Opis bloka za uklanjanje šuma mora da sadrži prikaz impulsnog odziva i prenosne karakteristike za sva 4 filtra. Poglavlje sa rezultatima mora sadržati: primera ulaznog signala u sistem (u vremenskom i frekventnom domenu), generisanog šuma (u vremenskom i frekventnom domenu), signala sa dodatim šumom (u vremenskom i frekventnom domenu), amplitudni spektar (rezultat računanja DFT-a) i filtriranog signala (u vremenskom i frekventnom domenu).**

## 2.1 Zadatak 1

1. Realizovati blok za dodavanje sinusoidalnog šuma u signal.
  - Potrebno je realizovati sistem koji nakon svakog primljenog bloka audio signala, na osnovu trenutno zadate frekvencije generiše sinusni signal istog trajanja kao ulazni signal, sabira ga sa ulaznim signalom, i emituje na izlaz, na oba audio kanala.
  - Za generisanje signala koristiti generator sinusnih signala upotrebom tabele pretraživanja. Generisani odbirci su celobrojne 16-bitne vrednosti. Tabela pretraživanja treba da sadrži vrednosti sinusnog signala samo u prvom kvadrantu. Pravljenje tabele pretraživanja uraditi u zasebnom programu. Dužina tabele pretraživanja nalazi se u Tabeli 1. Tabela pretraživanja treba da sadrži vrednosti sinusa u prvom kvadrantu, predstavljenih sa  $(LSize-1)$  odbiraka. Poslednja vrednost u tabeli treba da bude vrednost  $\sin(\pi/2)$ .

**Napomena:** Prilikom generisanja signala neophodno je voditi računa i o faznom pomeraju signala. Ukoliko se generiše jedan blok veličine  $N$ , naredni blok mora biti generisan sa faznim pomerajem koji odgovara broju odbiraka  $N$ .

$$\varphi = \left( N \cdot 2\pi \frac{f}{f_s} \right) \% 2\pi$$

2. Ispravnost sistema ispitati pokretanjem sistema za 4 vrednosti frekvencije iz Tabele 1, i prikazom ulaznog signala, generisanog šuma i zbira dva signala, u vremenskom i frekventnom domenu upotrebom ugrađenih alata CCS-a.
3. Drugi stepen provere ispravnosti izvršiti na sledeći način:
  - Povezati audio ulaz na razvojnoj ploči sa mikrofonom (podesiti ulazno pojačanje na 30dB)
  - Povezati audio izlaz na razvojnoj ploči sa mikrofonskim ulazom na računaru (obavezno na podešavanjima uređaja za snimanje zvuka na računaru odabrati *Line in* opciju).
  - Pokrenuti sistem

- Snimiti generisani signal upotrebom programskog alata Audacity, na PC-u. Za snimanje koristiti istu frekvenciju odabiranja kao i prilikom generisanja signala (8kHz).
  - Obeležiti snimljeni signal, i odabrati opciju *Analyze -> Plot Spectrum*. Analizom spektra snimljenog signala izvršiti proveru da li dodati šum u signal odgovara zadatom.
  - Ponoviti proceduru za sve vrednosti frekvencije šuma.
  - Sačuvati izlaznu datoteku za svaku frekvenciju (biće korišćena u narednim zadacima).
4. Realizovati korisničku spregu u okviru bloka za dodavanje sinusoidalnog šuma.
- Realizovati podršku za odabir željene frekvencije i amplitude šuma uz pomoć tastera na razvojnoj ploči.
  - Taster SW1 predstavlja taster za odabir frekvencije, svakim pritiskom na dugme SW1 postaviti vrednost odabrane frekvencije na sledeću u nizu  $f_{1-4}$ .
  - Za proveru stanja pritisnutog dugmeta koristiti funkciju:
    - `Uint16 EZDSP5535_SAR_getKey(void);`

Funkcija vraća vrednost SW1 ukoliko je pritisnut taster 1, SW2 ukoliko je pritisnut taster 2, SW12 ukoliko su pritisnuta oba i NoKey ukoliko nije pritisnut nijedan.

- Ispisati vrednost trenutne frekvencije šuma na LCD ekran. Štampanje pojedinačnog karaktera se može izvršiti upotrebom funkcije:
  - `void printChar (char x)`

## 2.2 Zadatak 2

1. Realizovati blok za prepoznavanje frekvencije prisutnog šuma
  - Izračunati indekse spektralnih koeficijanata komponenti signala koje su od značaja ( $f_{1-4}$ )
  - Nakon svakog primljenog bloka odbiraka, izračunati DFT signala. Za računanje DFT-a koristiti ugrađenu funkciju *rfft*. Pre računanja DFT primeniti zadatu prozorsku funkciju na signal. Vrednost prozorske funkcije za zadatu veličinu izračunati unapred u zasebnom programu. Voditi računa da funkcija *rfft* menja sadržaj ulaznog signala, tako da je neophodno napraviti kopiju pre poziva funkcije.
  - Izračunati spektar snage za dobijeni spektar sa  $P(x) = \text{Re}^2(x) + \text{Im}^2(x)$
  - Pronaći maksimalni koeficijent u spektru.
  - U zavisnosti od maksimalnog koeficijenta ispisati na u konzolu frekvenciju prepoznate komponente šuma. Ukoliko koeficijent ne odgovara nijednom od 4 izračunata u prvom koraku, ispisati da šum nije prisutan.
2. Ispravnost sistema ispitati na sledeći način:
  - Povezati *Line out* izlaz iz računara i *Line In* ulaz na razvojnoj ploči. Pokrenuti program.
  - Upotrebom programa Audacity reprodukovati jednu po jednu, sve datoteke generisane u poslednjem koraku prethodnog zadatka.
  - Proveriti da li ispisana vrednost detektovane frekvencije odgovara reprodukovanoj datoteci.

## 2.3 Zadatak 3

1. Realizovati blok za filtriranje signala

- Izračunati vrednosti koeficijenata *notch* filtera za 4 zadate frekvencije. Vrednosti koeficijenata izračunati na papiru, ili u okviru zasebne aplikacije. Koeficijente filtera smestiti u 4 zasebna niza.
  - Prilikom računanja koeficijenata voditi računa da koeficijente treba predstaviti u celobrojnoj aritmetici (skalirati na opseg Int16). Za koeficijente  $a_1$  i  $b_1$  koji su u opsegu  $[-2, 2]$  čuvati polovinu njihovih vrednosti.
  - Nakon određivanja frekvencije prisutnog šuma, pozvati funkciju za filtriranje signala koristeći odgovarajući filter. U slučaju da šum nije prisutan, proslediti signal na izlaz, bez filtriranja.
2. Ispravnost sistema ispitati na sledeći način:
- Povezati *Line out* izlaz iz računara i *Line In* ulaz na razvojnoj ploči. Pokrenuti program.
  - Upotrebom programa Audacity reprodukovati jednu po jednu, sve datoteke generisane u poslednjem koraku prvog zadatka.
  - Iscrtati vrednosti ulaznog signala i izlaznog signala iz filtera upotrebom ugrađenih alata CCS-a. Proveriti da li je filtriranjem uspešno uklonjena komponenta šuma.
3. Izvršiti ispitivanje čitavog sistema povezivanje dve razvojne ploče.
- Ploče povezati tako da izvor signala bude PC, blok za dodavanje šuma je pokrenut na jednoj, a blok za uklanjanje šuma na drugoj razvojnoj ploči. Prijemnik treba takođe da bude PC.
  - Reprodukovati proizvoljnu govornu datoteku na PC-u. Snimiti ulaz u prijemni uređaj (PC) koristeći Audacity
  - Menjati frekvenciju šuma u toku izvršavanja koda koristeći taster SW1 na prvoj razvojnoj ploči.
  - Analizirati snimljeni signal.

### 3 Dodatak – parametri zadatka:

Br. indeksa	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$LT\ vel.$	$FFT\ size$	Prozorska funkcija
RA 046/2015	400	1060	1620	2080	513	128	Hann
RA 019/2014	480	1140	1700	2160	513	256	Hamming
RA 134/2014	560	1220	1780	2240	1025	128	Blackmann
RA 18/2015	640	1300	1860	2320	1025	256	Hann
RA 044/2015	720	1380	1940	2400	2049	128	Hamming
RA 030/2015	800	1460	2020	2480	2049	256	Blackmann
RA 065/2015	880	1540	2100	2560	513	128	Hann
RA 150/2014	960	1620	2180	2640	513	256	Hamming
RA 019/2015	1040	1700	2260	2720	1025	128	Blackmann
RA 206/2014	1120	1780	2340	2800	1025	256	Hann
RA 218/2015	1200	1860	2420	2880	2049	128	Hamming
RA 119/2015	1360	2020	2580	3040	2049	256	Hann
RA 149/2013	1440	2100	2660	3120	513	128	Hamming
RA 191/2015	1520	2180	2740	3200	513	256	Blackmann
RA 039/2013	1600	2260	2820	3280	1025	128	Hann
RA 235/2013	400	860	1370	1990	1025	256	Hamming
RA 205/2014	480	940	1450	2070	2049	128	Blackmann
RA 167/2013	560	1020	1530	2150	2049	256	Hann
RA 222/2014	640	1100	1610	2230	513	128	Hamming
RA 178/2015	720	1180	1690	2310	513	256	Blackmann
RA 185/2015	800	1260	1770	2390	1025	128	Hann
RA 193/2015	880	1340	1850	2470	1025	256	Hamming
RA 55/2015	960	1420	1930	2550	2049	128	Blackmann
RA 088/2015	1040	1500	2010	2630	2049	256	Hann
RA 038/2015	1120	1580	2090	2710	513	128	Hamming
RA 039/2015	1200	1660	2170	2790	513	256	Blackmann
RA 230/2015	1280	1740	2250	2870	1025	128	Hann
RA 247/2016	1360	1820	2330	2950	1025	256	Hamming
RA 049/2015	1440	1900	2410	3030	2049	128	Blackmann
RA 046/2014	1520	1980	2490	3110	2049	256	Hann
RA 198/2012	1600	2060	2570	3190	513	128	Hamming
RA 004/2015	400	910	1420	1930	513	256	Blackmann
RA 022/2015	480	990	1500	2010	1025	128	Hann
RA 041/2015	560	1070	1580	2090	1025	256	Hamming
RA 118/2015	640	1150	1660	2170	2049	128	Blackmann
RA 056/2015	720	1230	1740	2250	2049	256	Hann



Priprema za laboratorijske vežbe iz predmeta Arhitektura procesora signala  
 Realizacija sistema za dodavanje i uklanjanje šuma iz govornog signala

RA 058/2015	800	1310	1820	2330	513	128	Hamming
RA 059/2015	880	1390	1900	2410	513	256	Blackmann
RA 133/2015	960	1470	1980	2490	1025	128	Hann
RA 141/2015	1040	1550	2060	2570	1025	256	Hamming
RA 162/2014	1120	1630	2140	2650	2049	128	Blackmann
RA 167/2015	1200	1710	2220	2730	2049	256	Hann
RA 179/2015	1280	1790	2300	2810	513	128	Hamming
RA 147/2015	1360	1870	2380	2890	513	256	Blackmann
RA 104/2015	1440	1950	2460	2970	1025	128	Hann
RA 002/2015	1520	2030	2540	3050	1025	256	Hamming
RA 163/2015	1600	2110	2620	3130	2049	128	Blackmann
RA 053/2015	400	850	1600	2050	2049	256	Hann
RA 136/2015	480	930	1680	2130	513	128	Hamming
RA 117/2015	560	1010	1760	2210	513	256	Blackmann
RA 128/2015	640	1090	1840	2290	1025	128	Hann
RA 152/2015	720	1170	1920	2370	1025	256	Hamming
RA 130/2015	800	1250	2000	2450	2049	128	Blackmann
RA 122/2015	880	1330	2080	2530	2049	256	Hann
RA 90/2015	960	1410	2160	2610	513	128	Hamming
RA 221/2015	1120	1570	2320	2770	513	256	Blackmann
RA 014/2015	1200	1650	2400	2850	1025	128	Hann
RA 207/2015	1280	1730	2480	2930	1025	256	Hamming
RA 97/2015	1360	1810	2560	3010	2049	128	Blackmann
RA 082/2015	1440	1890	2640	3090	2049	256	Hann
RA 006/2015	1520	1970	2720	3170	513	128	Hamming
RA 060/2015	1600	2050	2800	3250	513	256	Blackmann
RA 234/2013	400	750	1260	2360	1025	128	Hann
RA 016/2013	480	830	1340	2440	1025	256	Hamming
RA 222/2013	560	910	1420	2520	2049	256	Blackmann
Josić	640	990	1500	2600	2049	128	Hann
Martinov	720	1070	1580	2680	513	256	Hamming
Mušikić	800	1150	1660	2760	513	128	Blackmann