



**UNIVERZITET U NOVOM SADU**

**FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

**Odsek za elektrotehniku i računarstvo**

**Institut za računarstvo i automatiku**

**Katedra za računarsku tehniku i računarske komunikacije**

---

# **Arhitekture i algoritmi DSP II**

Projektni zadatak:

**Realizacija algoritma kombinovanja  
kanala na Cirrus Logic DSP platformi**

Student:  
Mario Perić

Mentor:  
Doc. dr Jelena Kovačević

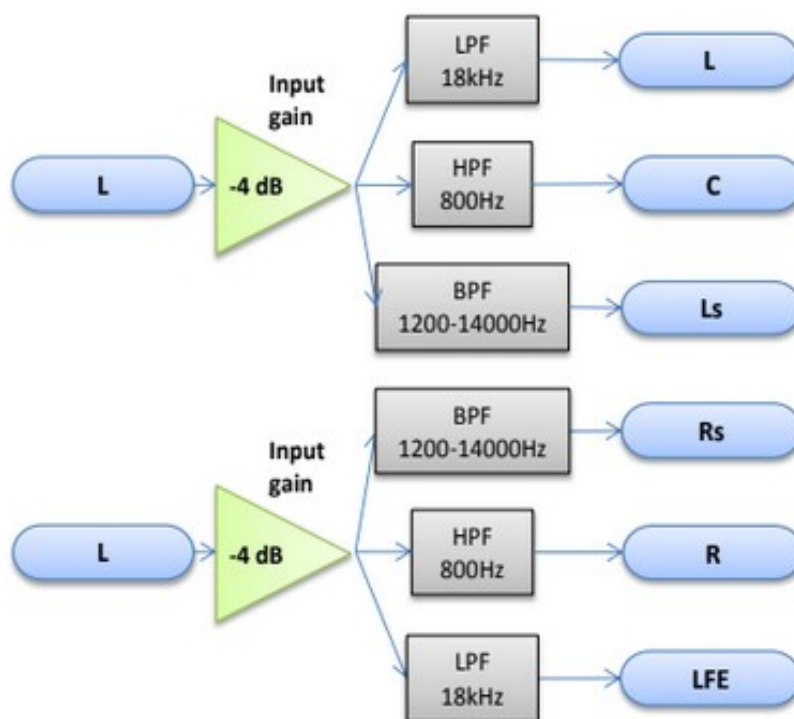
Novi Sad, 2018.

## Sadržaj

<b>1. OPIS ZADATKA</b>	<b>1</b>
<b>2. OPIS REALIZACIJE</b>	<b>3</b>
2.1.1 MODEL 0	3
2.1.2 MODEL 1	3
2.1.3 MODEL 2	4
2.1.4 MODEL 3	5
2.1.4.1 Faza 1	6
2.1.4.2 Faza 2	6
2.1.4.3 Faza 3	6
2.1.4.4 Faza 4	7
<b>3. ISPITIVANJE I VERIFIKACIJA</b>	<b>8</b>

## 1. Opis zadatka

Zadatak je implementirati dole navedenu šemu (slika 1), na Cirrus Logic DSP platformi. Kao parametri modela prosleđuju se pojačanja, da li je modul uključen, kao i koji od izlaznih kadanala će se čuti (moguće opcije su 2\_0\_0, 3\_2\_0, 3\_2\_1). Za realizaciju *LPF*, *HPF* i *BPF* korišćen je **IIR** filter drugog reda.



control	Enable	Input gain	Output mode
values	On/Off	From 0 to $-\infty$ dB	2_0_0 3_2_0 3_2_1
default value	On	-4 dB	2_0_0

NAPOMENA: Koristiti IIR filter 2. reda

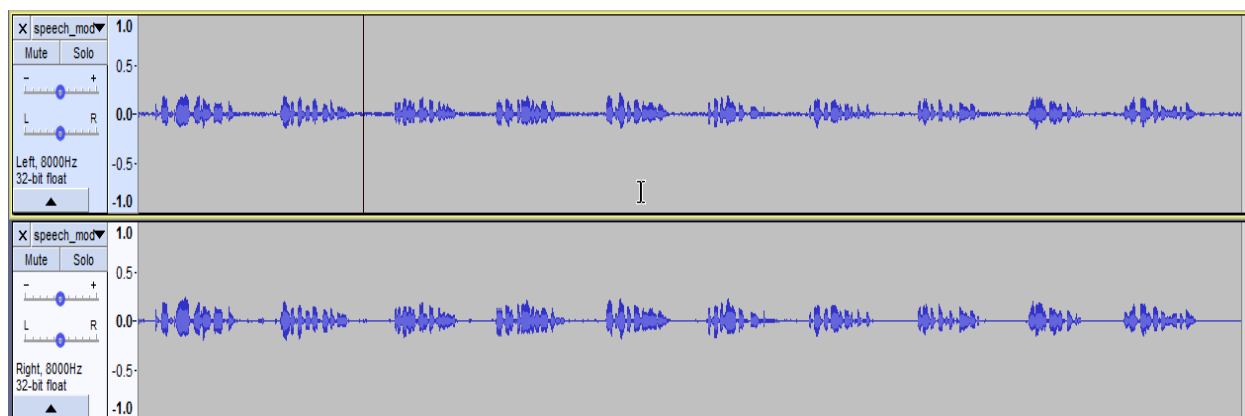
Slika 1 – Model zadatka

Zadatak je rešen podelom u 4 modela. Model 0 predstavlja inicijalno rešenje zadatka, koje služi kao test za testiranje ostalih rešenja. Model 1 predstavlja algoritamsko poboljšanje modela 0. Ovde se uvedene sve promene koje poboljšavaju algoritam, a nisu vezane za specifičnu platformu. Model 2 predstavlja poboljšanje modela 1 za datu platformu (**Cirrus Logic DSP**). Kako ova platforma nema podršku za brojeve sa pokretnim zarezmom, ovaj model uvodi brojeve sa nepokretnim zarezmom. Na ovaj način model se piše na ploči najoptimalniji način. Model 3 predstavlja verziju modela 2 koji se može spustiti na samu ploču. Ne postoje razlike između modela 2 i modela 3, osim alata u kojem je razvijan i toga da su određeni delovi morali da se dodatno optimizuju, kako bi se resursi koje troše smanjili.

## 2. Opis realizacije

### 2.1.1 Model 0

**Model 0** predstavlja referentni model. Kod razvoja ovog modela fokus nije na brzini ili korišćenju resursa, već isključivo na tome da algoritam radi ono za šta je projektovan. Ovaj model se kasnije koristi kao referentni, sa kojim se rezultati drugih modela porede, kako bi se utvrdilo da nije uvedena nikakva greška prilikom neke od optimizacionih faza. Izlaz iz **modela 0** za *speech.wav* i podrazumevane parametre (sistem *uključen*, pojačanja na  $-4dB$  i format izlaza *2\_0\_0*) dat je na **slici 2**.

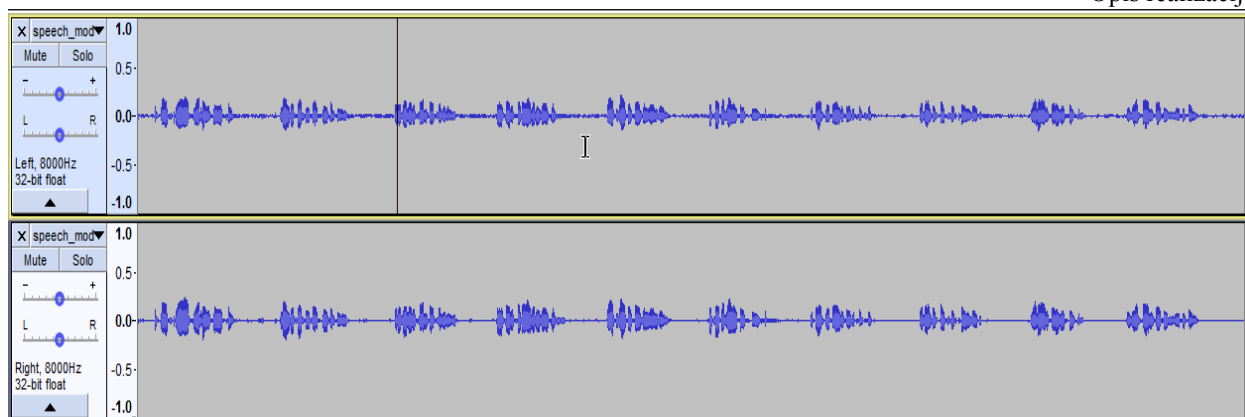


**Slika 2** – Izlaz prva 2 kanala, modela 0, za podrazumevane parametre

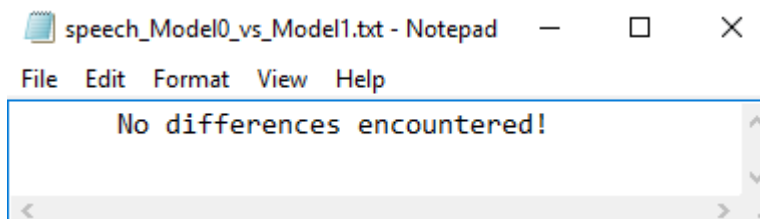
Ispravnost **modela 0** ručno je proverena, analizom rezultata u spektralnom domenu za ulaz *white\_noise.wav*. Kada je uspostavljeno da svaki od filtera filtrira dobre opsege, nastavljeno je razvijanje sledećih modela.

### 2.1.2 Model 1

**Model 1** predstavlja algoritamsko poboljšanje modela 0. Umesto pristupa elemenata niza preko indeksa, pristupa im se direkto preko adresa. Sve važne promenljive se prevode u globalne, a kanali koji se ne obrađuju se ni ne računaju. Ovaj model treba biti identičan modelu 0 i za iste ulaze mora dati identične izlaze, bez ikakvog odstupanja. Izlaz iz **modela 1** za *speech.wav* i podrazumevane parametre (sistem *uključen*, pojačanja na  $-4dB$  i format izlaza *2\_0\_0*) dat je na **slici 3**. Rezultat poređenja izlaza iz **modela 1** i **modela 0** dat je na **slici 4**.



Slika 3 – Izlaz prva 2 kanala, modela 1, za podrazumevane parametre



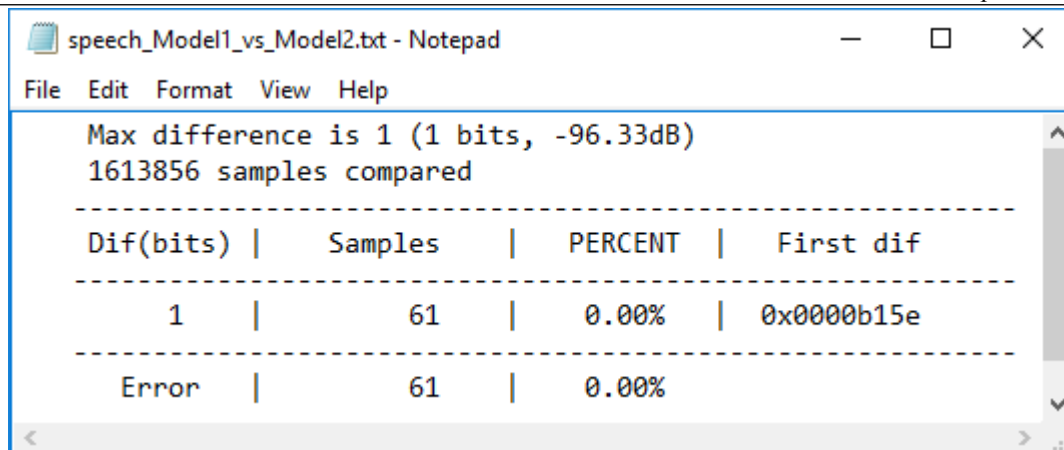
Slika 4 - Rezultat poređenja modela 0 i modela 1 za speech.wav

### 2.1.3 Model 2

**Model 2** predstavlja poboljšanje modela 1 za specifičnu platformu (**Cirrus Logic DSP**). U ovom slučaju, bilo je potrebno aritmetiku u pokretnom zarezu zameniti aritmetikom u nepokretnom zarezu, zbog hardverskih limitacija same razvojne ploče. Za te potrebe korišćene su klase koje adekvatno emuliraju **DSPfract** tip podataka i koje se lako mogu portovati u sledeći model. Zbog uvođenja ove izmene, dozvoljeno je da se izlaz u ovom modelu razlikuje od izlaza iz prethodnog modela za ne više od jednog bita po odbirku. Izlaz iz **modela 2** za *speech.wav* i podrazumevane parametre (sistem *uključen*, pojačanja na *-4dB* i format izlaza *2\_0\_0*) dat je na **slici 5**. Rezultat poređenja modela 2 i modela 1 dat je na **slici 6**.



Slika 5 – Izlaz prva 2 kanala, modela 2, za podrazumevane parametre



Slika 6 – Rezultat poređenja modela 1 i modela 2 za speech.wav

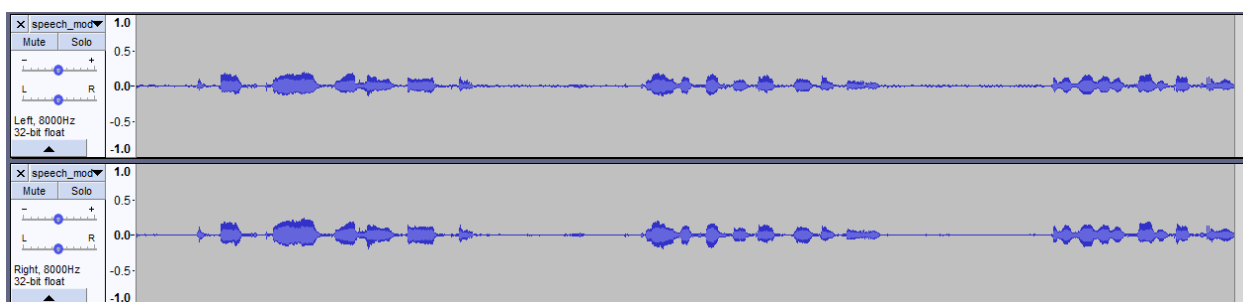
### 2.1.4 Model 3

**Model 3** predstavlja port modela 2 na datu platformu. Razlike koje uvodi model 3 su te da se promenljive sada dele na 2 memorije kojima Cirrus Logic DSP može da pristupa, kao i to da su određeni delovi koda pisani u assembleru date platforme, kako bi se smanjilo trošenje resursa.

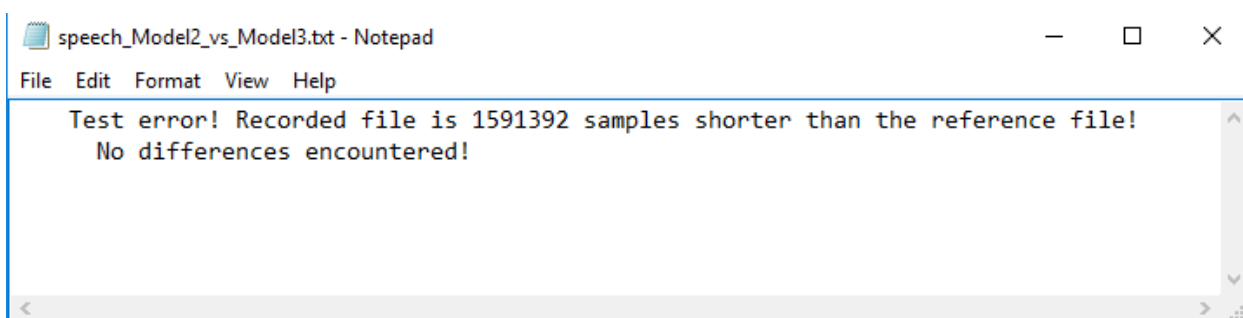
Model 3 razvijao se u više faza:

- **Faza 1** predstavljala je portovanje **modela 2** u *CLIDE* razvojno okruženje.
- **Faza 2** predstavljala je optimizaciju pristupa memoriji, tj. podelu važnih bafera u *X* i *Y* memoriju, kako bi se postigla što veća brzina pristupa.
- **Faza 3** predstavljala je optimizaciju funkcija za računanje IIR filtera drugog reda i u te svrhe ove funkcije su prebačene u assembly kod
- **Faza 4** predstavljala je dodavanje novih projekata (DSP Application, Modul i Overlay) kako bi se dati model mogao spustiti na fizičku arhitekturu i kako bi se parametri koji su dati u decibelima mogli menjati u realnom vremenu u toku izvršavanja.

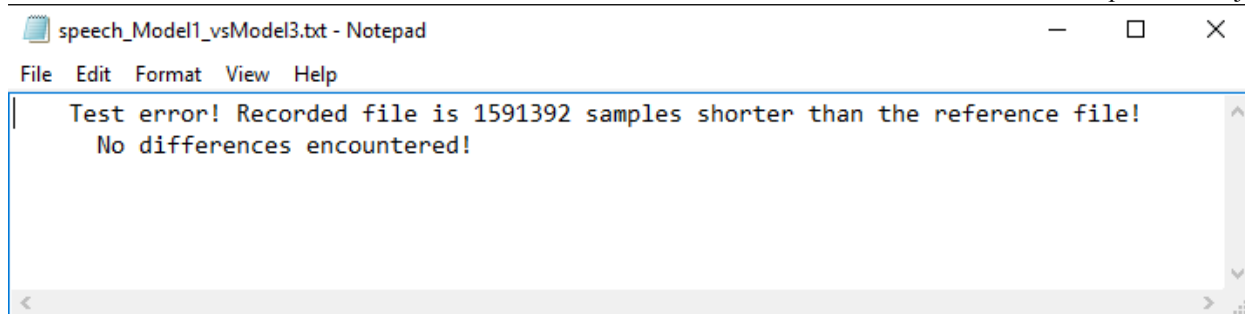
Izlaz iz **modela 3** za *speech.wav* i podrazumevane parametre (sistem *uključen*, pojačanja na *-4dB* i format izlaza *2\_0\_0*) dat je na **slici 7**. Rezultat poređenja izlaza iz **modela 3** i **modela 2** dat je na **slici 8**. Rezultat poređenja **modela 3** i **modela 1** dat je na **slici 9**.



Slika 7 - Izlaz prva 2 kanala, modela 3, za podrazumevane parametre

Slika 8 - Rezultat poređenja modela 2 i modela 3 za speech.wav<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zbog brzine izvršavanja simulator, njegovo izvršavanje ograničeno je na 100000 ciklusa, što rezultira kraćem fajlu u odnosu na ostale modele

Slika 9 - Rezultat poređenja modela 1 i modela 3 za speech.wav<sup>2</sup>

#### 2.1.4.1 Faza 1

U ovoj fazi **model 2** prebačen je u *CLIDE* razvojno okruženje. Uvedeno je par izmena koje su specifične za *CLIDE*, kao što su način čitanja i pisanja \*.wav fajlova, kao i način na koji se pristupa prosleđenim argumentima. Ostatak koda nije se razlikovao.

Rezultat ove faze sličan je **modelu 0**. On predstavlja očekivani rezultat i svaka sledeća faza ne sme dati različit rezultat od onoga koji je davala faza 1.

#### 2.1.4.2 Faza 2

U ovoj fazi vrši se optimizacija memorije. Baferi koji sadrže odabirke ulaznog signala premeštaju se u memoriju *Y*, dok se koeficijenti filtera, kao i pojačanja postavljaju u memoriju *X*. Na ovaj način ubrzavaju se delovi koda u kojima se ulaz množi sa koeficijentima filtera ili pojačanjem, koji su veoma česti.

#### 2.1.4.3 Faza 3

U ovoj fazi vrši se optimizacija brzine izvršavanja. Ceo algoritam napisan je u assembleru, nakon čega je dodatno optimizovan raznim metodama. Iskorišćena je mogućnost procesora da izvršava više funkcija paralelno, Nezavisne instrukcije premeštene su, kako bi se izbeglo pojavljivanje praznih naredbi, koje inače služe za čekanje da se iz memorije dobave dati podaci, baferi su poravnani u memoriji...

Fokus ove faze bio je na optimizaciji funkcije *second\_order\_IIR*, koja zauzima najveći deo funkcije *processing*, čije izvršavanje najviše traje. Rezultati pre i posle izvršavanja dati su na **slici 10** i **slici 11**, na kojima se može videti da se ukupno vreme izvršavanja funkcije *second\_order\_IIR* smanjilo sa 27.01 na 22.96.

Naziv funkcije	Ukupno vreme izvršavanja	Broj poziva	Vreme izvršavanja jednog poziva
main	99.99	1	99.999978
Processing	42.64	16811	0.002536
Second_order_IIR	27.01	537952	0.000050

Slika 10 – Rezultat profiling-a pre optimizacije

<sup>2</sup> Pošto je dužina izlaza iz modela 3 kraća u odnosu na izlaz modela 1, u datom opsegu modeli se u potpunosti poklapaju



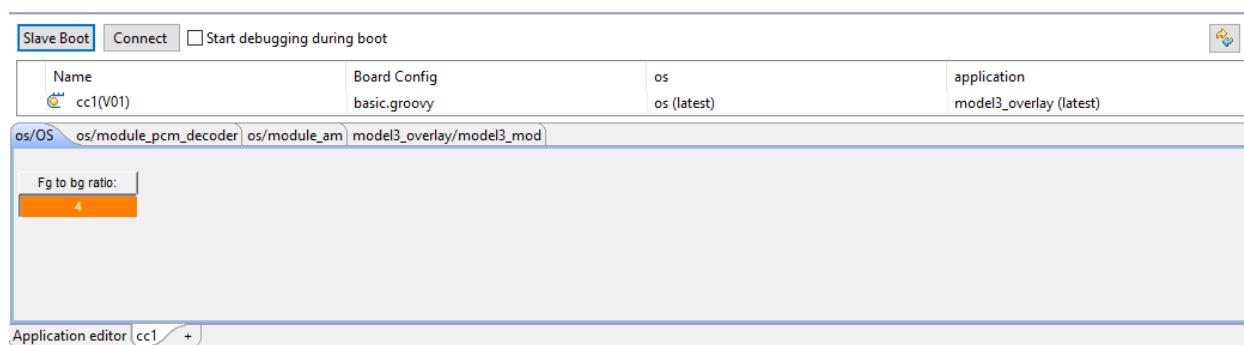
Naziv funkcije	Ukupno vreme izvršavanja	Broj poziva	Vreme izvršavanja jednog poziva
main	99.99	1	99.999978
Processing	42.64	16811	0.002536
Second_order_IIR	22.96	537952	0.000042

Slika 11 - Rezultat profiling-a nakon optimizacije

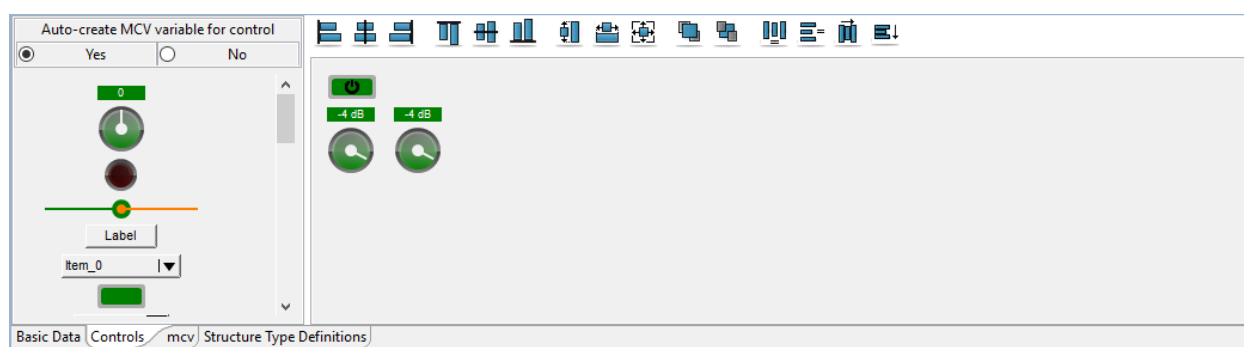
## 2.1.4.4 Faza 4

U fazi 4 model je portovan tako da radi kao **DSP Aplikacija**. Na ovaj način moguće je dati model, pored pokretanja u samom simulatoru, spustiti i na razvojnu ploču. Za ove potrebe, napravljena su 3 nova projekta:

1. DSP Aplikacija (**slika 12**) – glavni projekat koji sadrži druge i koji se bilduje kako bi se dobili potrebni fajlovi za spuštanje na ploču. Iz ovog projekta pokreće se simulator/ploča i iz njega se menjaju parametri u toku izvršavanja.
2. DSP Modul (**slika 13**) – sadrži sav kod, kao i parametre koje je moguće postaviti pre izvršavanja i menjati ih u toku izvršavanja
3. Overlay (**slika 14**) – sadrži listu svih modula koji se trebaju naći u samoj aplikaciji



Slika 12 – DSP Aplikacija



Slika 13 – Parametri modula

Modules						
Add	Module Project Name	Module Version	Module ID	Module Build Configurations	Display control panel	
Remove	model3_mod	Latest	0x74		true	
Move up						
Move down						

Slika 14 – Sadržaj Overlay-a

### 3. Ispitivanje i verifikacija

Nakon što je utvrđeno da model 0 daje očekivani izlaz, izlazi ostalih modela testirani su u odnosu na njega. Model 2 uvodi promenu aritmetike, što može dovesti do različitih rezultata zbog razlike u preciznosti ove 2 vrste računanja. Zbog toga se ovde dozvoljava razlika od ne više od 1 bita po odbirku. Svaki model poredi se sa prethodnim modelom. Tek nakon što se ustanovi da model ne uvodi grešku, prelazi se na razvoj sledećeg. Svaka izmena u nekom od prethodno završenih modela zahteva izmene u svakom modelu koji sledi posle njega, kao i ponovno testiranje i verifikaciju svih modela.

Za poređenje rezultata korišćen je program **PCMCompare**. Ovaj program radi poređenje svakog od odabiraka iz 2 \*.wav fajla, nakon čega obaveštava o razlikama, ukoliko ih je bilo.

U svrhu automatizacije ovog procesa napisana je skripta **test\_all.bat**, koja automatski pokreće sve modele za svaki od ulaza datih u folderu **TestStreams** i izlaz čuva u folderu **OutStreams** dodavajući sufiks sa brojem modela za svaki od testiranih modela. Nakon toga poredi svaka rezultate za svaka 2 susedna modela i rezultate ispisuje u folder **OutCmp** i obaveštava ukoliko je došlo do bilo kakve greške ili ukoliko se fajlovi ne poklapaju. Primer izlaza iz skripte **test\_all.bat** dat je na slici 15.

```
C:\Users\random\Desktop\AADSP2-Projekat>test_all
Running tests for stream: 2ch_contour_ne40_24b_48k.wav
model 0
model 1
model 2
model 3
No differences encountered!
Max difference is 1 (1 bits, -144.49dB)
Recorded file is 1551936 samples shorter than the reference file!
No differences encountered!
Running tests for stream: 2ch_lvl_amt_48k.wav
model 0
model 1
model 2
model 3
No differences encountered!
Max difference is 1 (1 bits, -96.33dB)
Recorded file is 1707072 samples shorter than the reference file!
No differences encountered!
```

Slika 15 – izlaz iz skripte test\_all.bat

Kako je potrebno testirati rezultate na sve navedene ulaze često u toku razvoja i kako je taj proces bio dugotrajan, uvedene su optimizacije u datoj skripti. Modeli 0, 1 i 2 koriste Release verzije umesto prethodno korišćene Debug verzije, što je smanjilo izvršavanje ovih modela za oko 10 puta. Izvršavanje modela 3 ograničeno je na 100000 ciklusa što je za određene ulaze smanjilo vreme izvršavanja i do 100 puta. Na ovaj način postignuto je da se testiranje na sve ulaze izvrši u razumnom vremenu.

Svaki od modela testiran je na sve ulaze za različite parametre. Konačni rezultati testiranja dati su na **slici 16**.

Ulaz	Razlika 0/1	Razlika 1/2	Razlika 2/3	Razlika 1/3	Gain 1 (dB)	Gain 2 (dB)	mode
2ch_contour_ne40_24b_48k	-	1	-	1	-4	-4	2_0_0
2ch_lvl_amt_48k	-	1	-	1	-4	-4	2_0_0
Amp_Sweep	-	1	1	1	-4	-4	2_0_0
Ch_Numbers	-	1	-	1	-4	-4	2_0_0
Freq_sweep	-	1	1	1	-4	-4	2_0_0
Multi_Tone	-	1	-	1	-4	-4	2_0_0
speech	-	1	-	1	-4	-4	2_0_0
titanic_horn	-	1	-	1	-4	-4	2_0_0
Tone_L1k_R3k	-	1	-	1	-4	-4	2_0_0
silence	-	-	-	-	-4	-4	2_0_0
2ch_contour_ne40_24b_48k	-	1	1	1	0	0	3_2_0
2ch_lvl_amt_48k	-	1	1	1	0	0	3_2_0
Amp_Sweep	-	1	1	1	0	0	3_2_0
Ch_Numbers	-	1	1	1	0	0	3_2_0
Freq_sweep	-	1	1	1	0	0	3_2_0
Multi_Tone	-	1	1	1	0	0	3_2_0
speech	-	1	1	1	0	0	3_2_0
titanic_horn	-	1	1	1	0	0	3_2_0
Tone_L1k_R3k	-	1	1	1	0	0	3_2_0
silence	-	-	-	-	0	0	3_2_0
2ch_contour_ne40_24b_48k	-	1	-	1	-6	-6	3_2_1
2ch_lvl_amt_48k	-	1	1	1	0	-4	3_2_1
Amp_Sweep	-	1	1	1	-4	-6	3_2_1
Ch_Numbers	-	1	1	1	0	-6	3_2_1
Freq_sweep	-	1	1	1	-6	-6	3_2_1
Multi_Tone	-	1	1	1	0	0	3_2_1
speech	-	1	1	1	0	-4	3_2_1
titanic_horn	-	1	-	1	-4	-6	3_2_1
Tone_L1k_R3k	-	1	1	1	-6	-6	3_2_1
silence	-	-	-	-	0	-4	3_2_1

**Slika 16** – Konačni rezultati (u bitima) testiranja modela na različite parametre

Iz datih rezultata može se videti da ni u jednom slučaju, razlika 2 modela ne prelazi 1 bit, što znači da je implementacija uspešno izvršena.