



# UNIVERZITET U NOVOM SADU FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



**Departman za računarstvo i automatiku**

**Smer računarstvo i automatika**

**Odsek za Računarsku tehniku i računarske komunikacije**

## AADSP PROJEKAT

**Kandidat:** Jovan Janjic

**Broj indeksa:** RA195-2022

**Predmet:** Algoritmi i arhitekture DSP

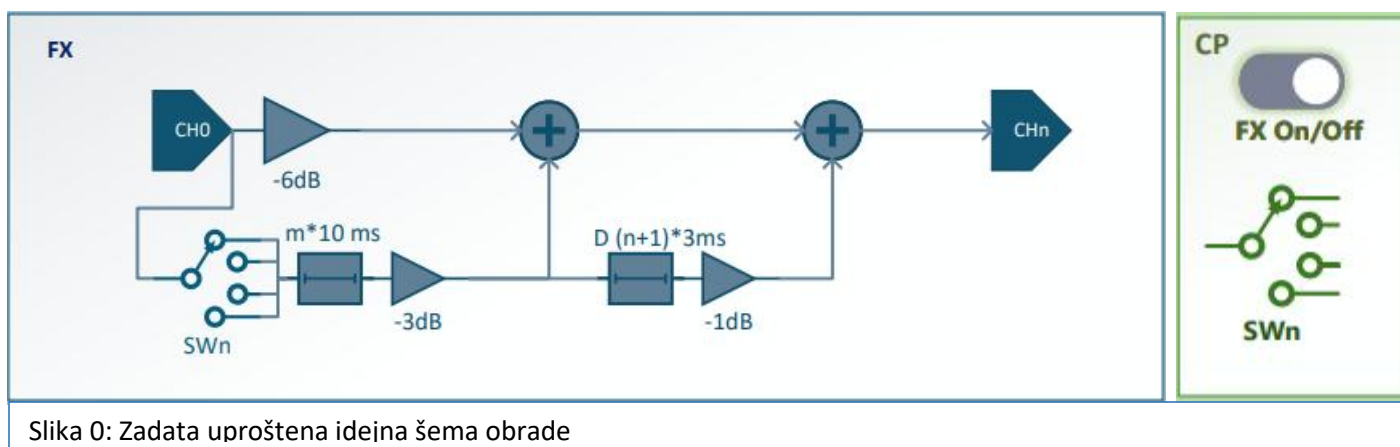
**Tema rada:** Realizacija DSP aplikacije na osnovu šeme lanca obrade  
i kombinovanja signala za haOS operativni sistem

**Novi Sad, 2025.**

## Ideja I koraci realizacije

Cilj projekta je pomoću dijagrama DSP lanca i šeme realizovati narednih 5 koraka:

- **PR0**: razviti šemu kombinovanja signala,
- **PR1**: realizovati referentni kod FX modula završne obrade na bazi razvijene šeme,
- **PR1-1**: verifikovati rad pojedinačnih blokova obrade i celokupnog FX modula,
- **PR2**: integrisati FX modul u haOS operativni sistem,
- **PR3**: verifikovati rešenje kroz automatizovano testiranje,
- **PR4**: implementirati DSP aplikaciju sa 2 ulazna dekodera,
- **PR5**: priložiti rezultate rada



Slika 0: Zadata uproštena idejna šema obrade

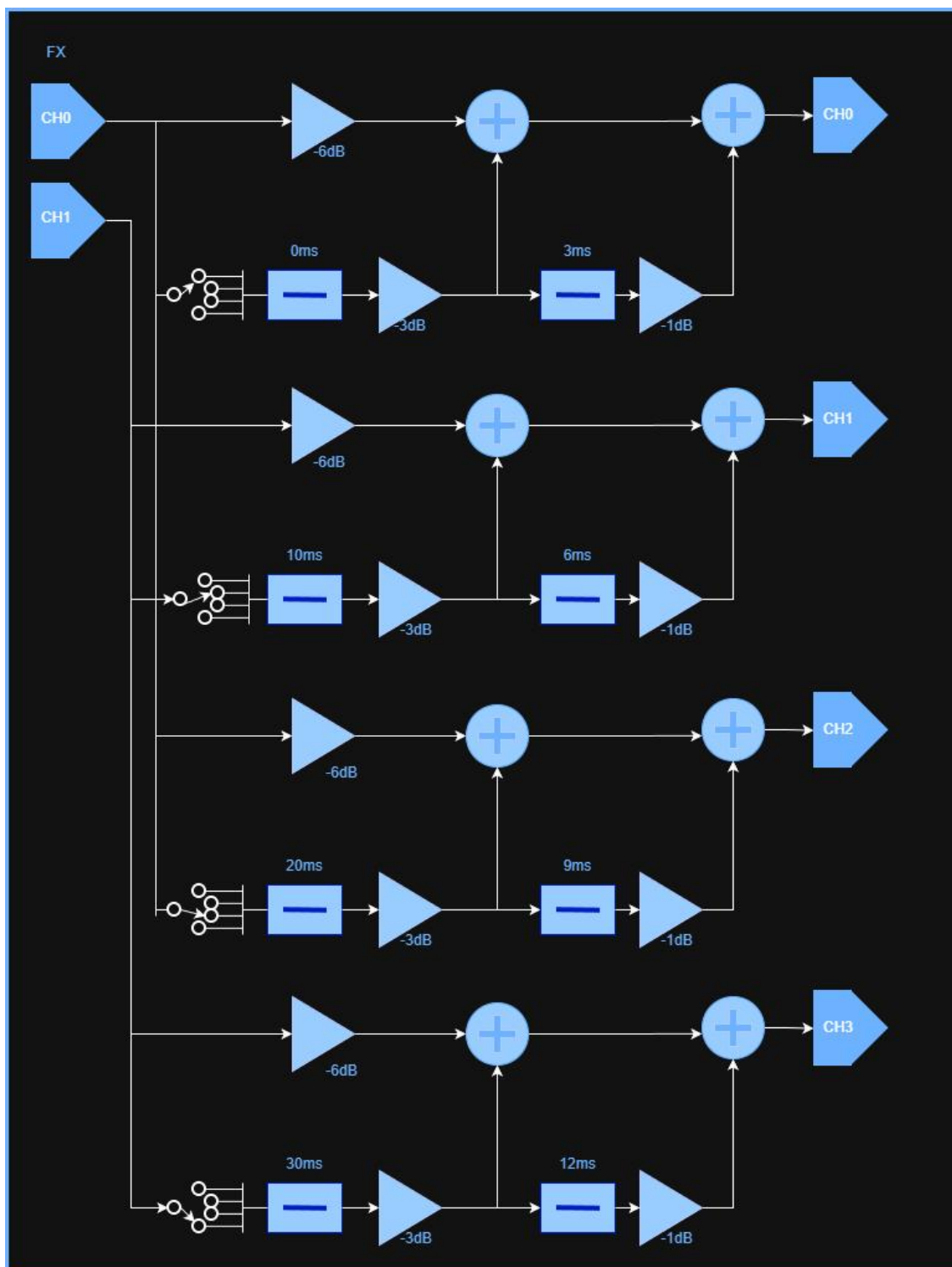
Zaključujemo da se šemom na slici 0 postiže zvučni eho efekat.

## PR0: Razvijanje šeme kombinovanog signala

U razvijenoj šemi realizovan je višekanalni DSP efekat baziran na sabiranju direktnog i sporednih signala. Maksimalan broj izlaznih kanala je 6 s tim da se za **neparne izlazne kanale obrađuje CH1 ulaznog signala a na parne CH0**.

Ulazni signal se prvo prigušuje ( $-6\text{ dB}$ ) i vodi direktno ka izlazu, dok se paralelno grana u više delay grana čije se kašnjenje bira pomoću prekidača (**SW<sub>n</sub>**), sa vremenima oblika  $n \cdot 10\text{ ms}$  i dodatnim kašnjenjem  $(n+1) \cdot 3\text{ ms}$ . Svaka delay grana ima kontrolisano slabljenje ( $-3\text{ dB}$  i  $-1\text{ dB}$ ) kako bi se obezbedila stabilnost i realističan efekat (echo/reverb). Na kraju se svi doprinosi sabiraju i formiraju izlazi **CH0–CH5**, čime se postiže prostorni i vremenski razdvojen audio efekat.

Na konkretnom primeru (slika 0.1) prikazana je razvijena šema na slučaju **4 izlazna kanala** sa svim mogućim varijantama u odnosu na vrednost na koju ukazuje stanje prekidača.



Slika 0.1 razvijena šema na slučaju 4 izlazna kanala

Na priloženoj slici vidimo da su vrednosti kašnjenja različite za date SWn vrednosti za izlazne kanale:

**CH0->n=0**

**CH1->n=1**

**CH2->n=2**

**CH3->n=3**

# PR1: FX modul obrade na bazi šeme

## Funkcionalnosti modula:

### 1. Kontrolni parametri (unos preko komandne linije):

- on** (0/1) — uključivanje/isključivanje FX modula
- mute** (0/1) — mutiranje signala
- upmix** (0/1) — upmix na više izlaznih kanala
- delay** (0/1) — uključivanje/isključivanje delay obrade
- switchState0 do switchState5** (0–3) — delay parametar za svaki kanal
- channelMask** (opciono) — bitmask za izlazne kanale

Vrednosti svih prosledjnih parametara utiču na rezultat i koriste se tokom obrade signala sa razlikom u prioritetnosti ON->MUTE->svi ostali parametri

### 2. Mapiranje ulaznih na izlazne kanale:

- Izlazni CH0, CH2, CH4 razvijaju se iz ulaznog CH0 (levi)
- Izlazni CH1, CH3, CH5 razvijaju se iz ulaznog CH1 (desni)

### 3. Signalna obrada:

- Glavni put: ulaz -> -6dB -> prvi sabirač
- Efekat put: ulaz -> delay ( $\text{switchState} * 10\text{ms}$ ) -> -3dB -> prvi sabirač
- Nastavak efekta: -> delay ( $(\text{switchState} + 1) * 3\text{ms}$ ) -> -1dB -> drugi sabirač
- Finalni izlaz: kombinacija glavnog i efekat puta

### 4. Gain i Delay elementi:

Svaki izlazni kanal ima svoje delay buffere sa vremenom kašnjenja  $\text{switchState}[\text{ch}] * 10\text{ms}$  i  $(\text{maxSwitchState} + 1) * 3\text{ms}$

**Delay** u FX modulu implementiran je pomoću cirkularnih bafera sa nezavisnim read i write pokazivačima, čime je omogućeno realizovanje vremenskih kašnjenja zavisnih od stanja prekidača.

**Pojačanja** su konstantna matematički izračunata i definisana kao makroi.

### 5. Optimizacije:

- Direktno indeksiranje izlaznih bafera (bez petlje po kanalima)
- Nizovi za delay buffere po kanalu
- Prekalkulisane vrednosti gde je moguće
- Minimalna upotreba memorije

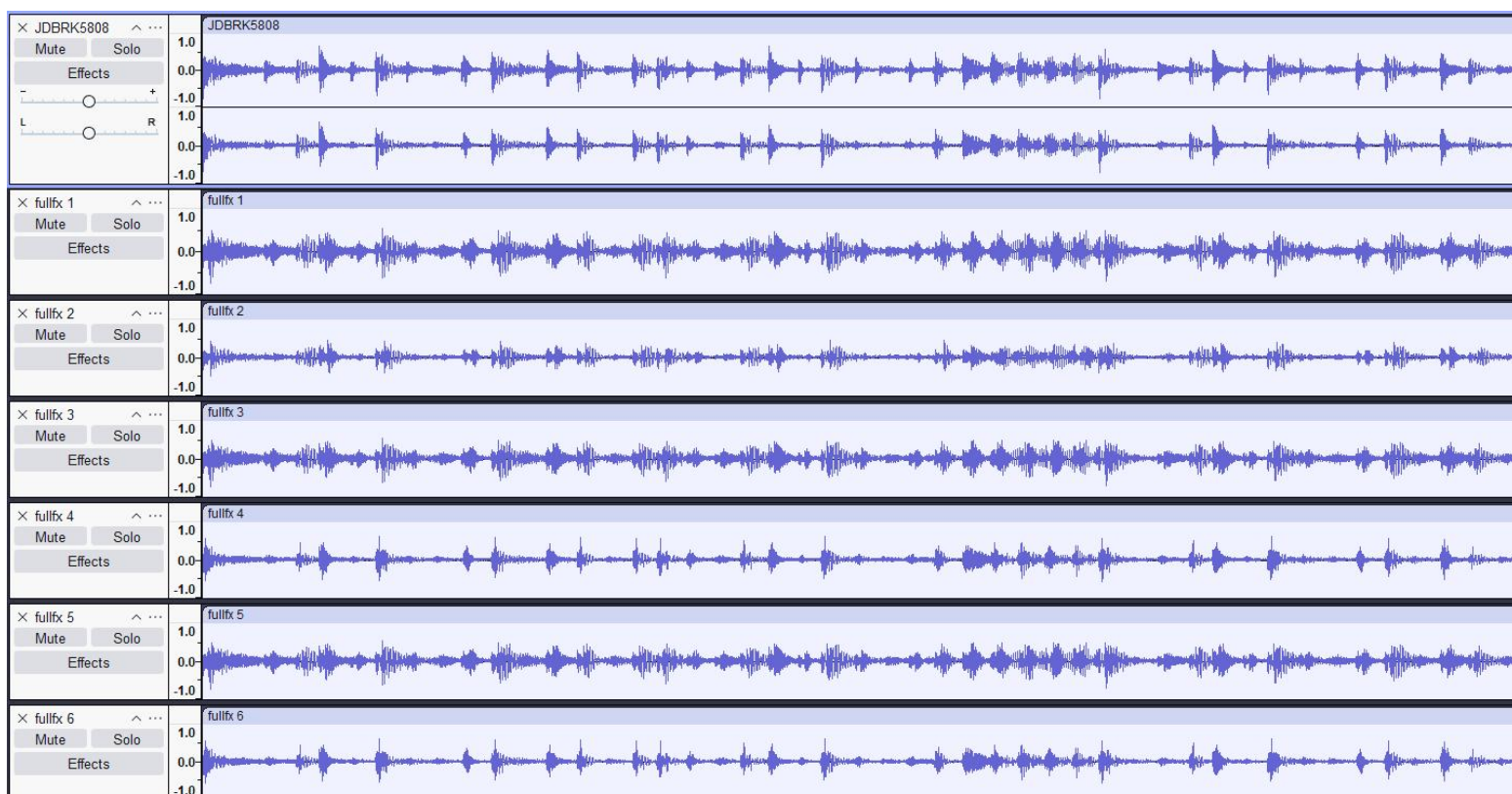
### 6. Tehnički detalji:

- Maksimalno 6 izlaznih kanala
- Portabilan C kod sa komentarima
- Modularna struktura sa odvojenim funkcijama za delay, sabiranje i gain
- Modul je prilagodljiv različitim konfiguracijama preko parametara komandne linije.

## PR1-1: Verifikacija blokova obrade i celokupnog FX modula

U cilju validacije bloka obrade na datim slikama prikazani su različiti dobijeni rezultati u zavisnosti od prosledjenih parametara čime se proverava njihova funkcionalnost. Na svim primerima kao ulaz korišćen je dvokanalni fajl JDBRK5808.wav.

Na slici 1.1 vidimo primer maksimalne iskoriscenosti realizovanih funkcija, potpunu primenu različitih vrednosti stanja prekidača i dozvolu upotrebe delay elemenata. Pošto su vrenosti za sw0 sw2 sw4 iste, a svi se dobijaju obradom levog kanala potpuno su identični, što važi i za sw3 i sw5 dok sw1 ima najmanju vrednost n te se znatno slabije primećuje eho efekat prilikom slušanja.



Slika 1.1 on:1 mute:0 upmix:1 delay:1 sw0:3 sw1:0 sw2:3 sw3:1 sw4:3 sw5:1

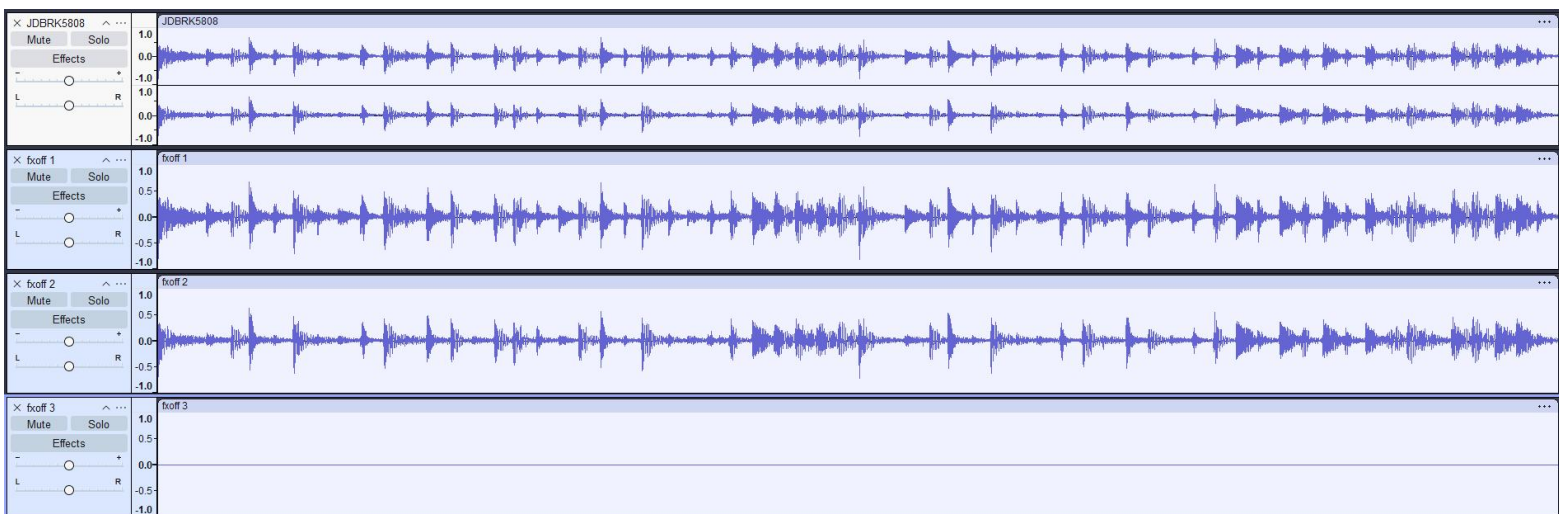
Funkcionalnosti parametara “višeg prioriteta” on i mute su prikazane na slikama 1.2 i 1.3 gde je demonstrirano njihovo prevladavanje nad drugim parametrima bez obzira na njihove vrednosti.

Još jedan primer je kada je vrednost parametra dozvole delay=0 (slika 1.4) i u tom slučaju zapažamo da su izlazni kanali parnih odnosno neparnih indexa potpuno identični jer su im pojačanja konstanta a kašnjenja onemogućena.

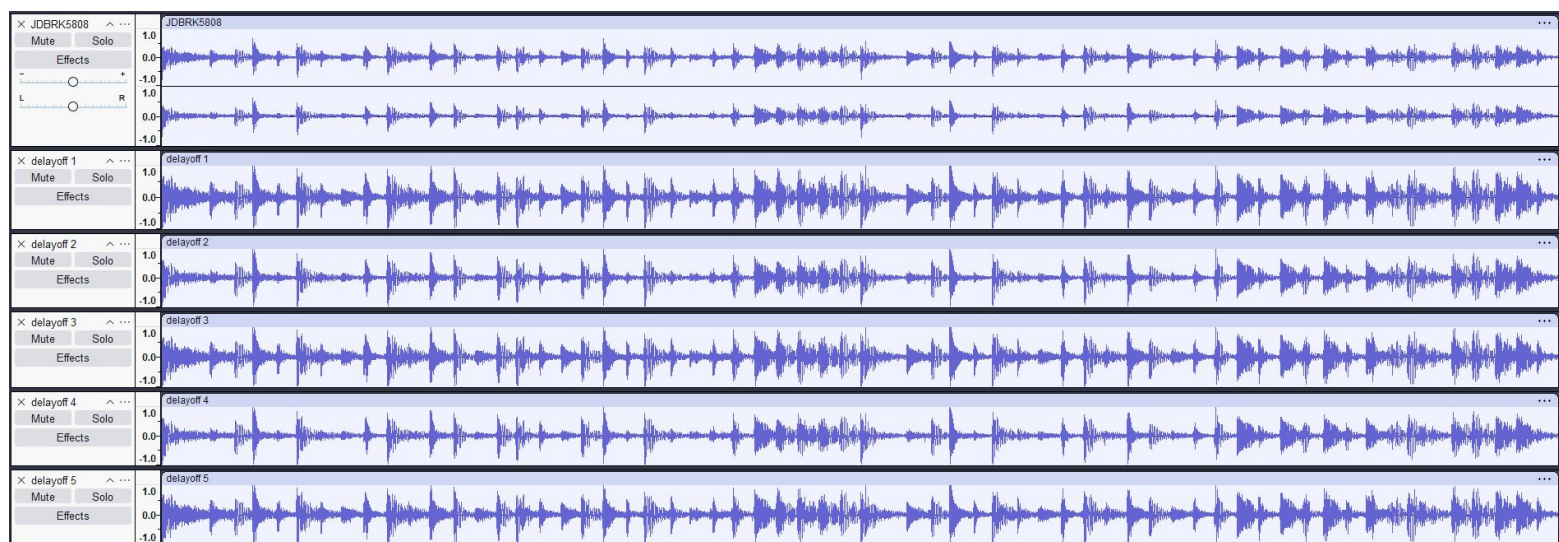




Slika 1.2 on:1 mute:1 upmix:1 delay:1 sw0:3 sw1:1 sw2:1 sw3:3



Slika 1.3 on:0 mute:1 upmix:1 delay:1 sw0:0 sw1:1 sw2:2



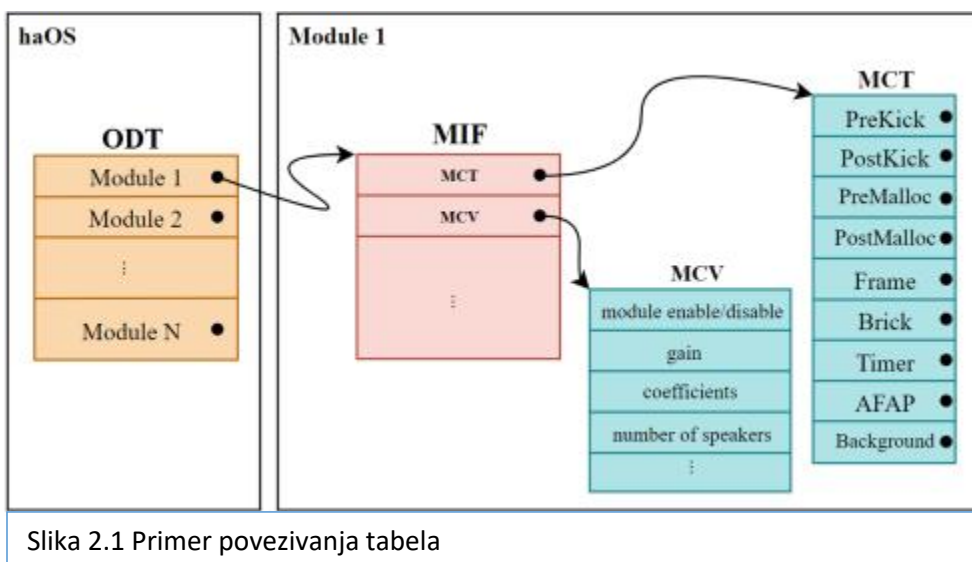
Slika 1.4 on:1 mute:0 upmix:1 delay:0 sw0:0 sw1:1 sw2:2 sw3:3 sw4:3

## PR2: Integrisati FX modul u haOS operativni sistem

U okviru ovog koraka realizovana je integracija FX modula završne (post-processing) obrade u sistemski haOS softver, koji predstavlja pojednostavljenu emulaciju operativnog sistema za DSP platforme u kućnim audio uređajima. Unutar haOS simulirani je hardver DSP-a i omogućeno modularno formiranje lanca obrade signala putem plug-in mehanizma, čime se olakšava kombinovanje više različitih korisničkih audio modula.

FX modul, prethodno implementiran u okviru PR1.0, integrisan je u novi Visual Studio projekat sa datim sistemskim softverom, **bez izmene processing blocka**. Modul je uključen u aplikativni lanac obrade: **PCM Decoder -> FX -> Audio Manager**.

Integracija je izvršena u definisanjem Module Interface (MIF) strukture modula, koja sadrži pokazivače na Module Call Table (MCT) i Module Control Vector (MCV) (slika 2.1). MCT tabela definiše **callback rutine** modula koje se izvršavaju u zavisnosti od sistemskih događaja (realizovane PreKick, Postkick i Brick), dok MCV tabela sadrži **korisničke parametre** modula, kao što su uključivanje efekta, mute, upmix, delay, izbor stanja prekidača po kanalima.



Slika 2.1 Primer povezivanja tabela

U okviru **PreKick** rutine izvršena je inicijalizacija FX modula i kopiranje vrednosti iz MCV strukture u lokalnu strukturu korisničkih parametara.

**PostKick** rutina se poziva nakon obrade konfiguracionih podataka prosleđenih od strane sistemskog kontrolera i koristi se za ponovno sinhronizovanje i ažuriranje internih parametara modula na osnovu trenutno važećih vrednosti u MCV strukturi.

**Brick** rutina se izvršava u foreground kontekstu pri prijemu PCM sempla i poziva funkciju za blokovsku obradu signala, nakon čega se dinamički podešava maska validnih izlaznih kanala.

## PR3: Verifikacija rešenja automatizovanim testiranjem

Integracija FX obuhvatila je povezivanje predefinisane obrade ulaznih signala i drugih sistemskih modula(AM I dekodera), a analizom utvrđeno je da su izlazi iz haOS sistema identični onima iz 1.0 za iste vrednosti parametara.

Radi uštede vremena i kvaliteta testiranja korišćeni su alati za **automatsko testiranje** izlaza haOS sistema i referentnog bloka obrade. Ovi programi omogućavaju kontrolisano generisanje ulaznih test signala i paralelno poređenje rezultata obrade između referentne implementacije i DSP aplikacije integrisane u haOS.

**GRANT** program se koristi kao konfiguracioni alat, zadužen za pripremu testova i prosleđivanje kontrolnih parametara sistemu pomoću korisnički definisanih tabela za ulazne fajlove i tabele za definisanje nasumičnih vrednosti parametara(slika 3.1)

**CUTE** program ima ulogu automatizovanog test okruženja za poređenje izlaza. Njegov zadatak je da generiše test signale, pokrene obradu kroz oba sistema i izvrši precizno poređenje rezultata.

ID	Number	Type	Name	Min value	Max value	Decimal	Default	Set values	Description of Controls
0x50	1	set	On	-	-	-	1	0 1	Enables processing module FX
0x50	2	set	Mute	-	-	-	0	0 1	Enables mute control
0x50	3	set	Upmix	-	-	-	0	0 1	Enables channel upmix
0x50	4	set	Delays	-	-	-	0	0 1	Enables delay effect
0x50	5	set	SW0	-	-	-	0	0 1 2 3	Swatches state 0-4
0x50	6	set	SW1	-	-	-	0	0 1 2 3	Swatches state 0-4
0x50	7	set	SW2	-	-	-	0	0 1 2 3	Swatches state 0-4
0x50	8	set	SW3	-	-	-	0	0 1 2 3	Swatches state 0-4
0x50	9	set	SW4	-	-	-	0	0 1 2 3	Swatches state 0-4
0x50	10	set	SW5	-	-	-	0	0 1 2 3	Swatches state 0-4

Slika 3.1 haOS\_modules\_command\_line\_arguments tabela

Testiranje je sprovedeno kroz skup od **deset različitih test slučajeva**, koji su obuhvatali različite kombinacije korisničkih parametara (uključivanje/isključivanje efekata, promene delay vrednosti, stanje upmix funkcije, stanja switcha).

Na osnovu dobijenih rezultata potvrđeno je apsolutno amplitudsko poklapanje izlaza u svih deset testiranih scenarija, što ukazuje na korektnu integraciju FX modula i dosledno ponašanje DSP obrade u okviru haOS sistema.



## PR5: Zaključak projekta

Kroz realizaciju projekta sistematski su obuhvaćeni svi predviđeni koraci, počev od **razvoja DSP šeme kombinovanja signala** (PR0), preko **implementacije referentnog FX modula** (PR1), pa do njegove detaljne **funkcionalne verifikacije** (PR1-1). Razvijena šema je uspešno prebačena u modularan i optimizovan C kod, pri čemu su jasno definisani signalni putevi, prioriteti kontrolnih parametara i mehanizmi za realizaciju delay, mute... Nakon primene svih efekata zapaža se da je primenom gain i delay efekata na izlazne signale primenjen eho efekat čija je jačina srazmena prosledjenom parametru i tako obradjeni signali propagiraju se na do 6 izlaznih kanala što i u praksi bio 5.1 surround sound sistem.

**Integracijom FX modula u haOS** operativni sistem (PR2) demonstrirana je prilagodljivost i prenosivost razvijenog rešenja u okviru sistemskog DSP okruženja. Korišćenjem MIF/MCT/MCV mehanizama omogućena je pravilna inicijalizacija, dinamičko ažuriranje parametara, bez potrebe za izmenom osnovnog bloka obrade. Time je potvrđeno da je FX modul u potpunosti kompatibilan sa arhitekturom haOS sistema.

Završna verifikacija kroz **automatizovano testiranje** (PR3), uz upotrebu GRANT i CUTE alata, potvrdila je ispravnost i doslednost celokupnog rešenja. Ostvareno potpuno amplitudsko poklapanje izlaza u svim test slučajevima predstavlja potvrdu da su svi prethodni koraci pravilno realizovani. Na taj način projekat zaokružuje kompletan ciklus od ideje i šeme, preko implementacije i integracije, do pouzdane verifikacije i dokumentovanja rezultata.