

Digitalna efekt pedala

Damjan Prerad, Branko Blanuša
Katedra za elektroniku
Elektrotehnički fakultet
Banja Luka, Bosna i Hercegovina
damjan.prerad@etf.unibl.org

Sažetak—U radu je realizovan uređaj za digitalne gitarske efekte sa efektom pojačanja, distorzije i eha. Pored uređaja, razvijena je Digitalino android aplikacija. Razvijena pedala je testirana u stvarnom okruženju sa profesionalnim muzičarima. Nakon testiranja pedale ustanovljeno je da pedala zadovoljava potrebe tokom sviranja. Prednost razvijene pedale je u tome što je ona digitalna i dodavanje novog efekta podrazumijeva samo ažuriranje firmvera na pedali i ažuriranje aplikacije bez izmjene hardvera.

Gljučne riječi: digitalna efekt pedala; mikrokontrolerski sistemi; I2S protokol; DMA prenos; digitalna obrada signala; android aplikacija; android razvoj;

I. UVOD

Do prije par decenija analogna elektronika je upotrebljavana u svim oblastima industrije, prvi radio je koristio analognu elektroniku, prvi računari su bili analogni. Predstavljanje svijeta preko niza jedinica i nula je omogućilo prelazak u digitalni domen u kome su osnovne operacije aritmetike i logike značajno pojednostavljene. Tako nastaju prvi digitalni računari. Prednost digitalnih računara u odnosu na svoje analogne prethodnike je u tome što se jedna mašina može koristiti na mnogo širem skupu poslova. Dovoljno je napraviti jedan uređaj koji se dalje može primjeniti u skoro svim granama industrije, u domaćinstvima i u gotovo svim aktivnostima u kojima čovjek ima neki interes. Razvojem elektronike muzička industrija se naglo mijenja. Novi žanrovi postaju popularni i pored muzičkih instrumenata, muzičari dobijaju širok spektar popratne opreme koja pruža veći prostor u kome kreativnost može da se ispolji [1]. Dio te opreme su i efekt pedale. Efekt pedale koje se proizvode u digitalnoj tehnici pružaju veću fleksibilnost u efektima koji mogu da se postignu. Dovoljno je napisati novi firmver (eng. *firmware*) i efekt pedala ima potpuno drugačiju funkcionalnost bez bilo kakve izmjene hardvera.

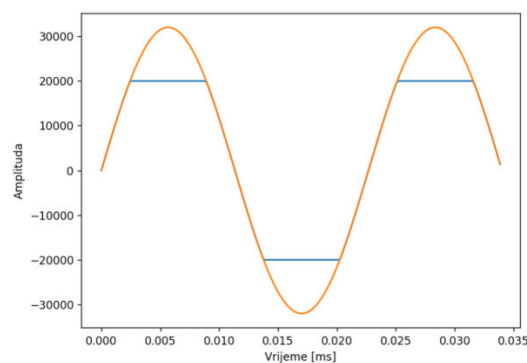
II. AUDIO EFEKTI

Audio signal je elektronski zapis zvuka nad kojim se mogu vršiti manipulacije. Svjesna manipulacija tim signalom se naziva efekat. Audio efekti mijenjaju zvuk muzičkog instrumenta ili nekog drugog muzičkog izvora. Neki od najpoznatijih efekata su distorzija koja se koristi sa električnim gitarama, dinamički efekti kao npr. kompresor, različite vrste filtera npr. *wah-wah* filter, modulacijski efekti,

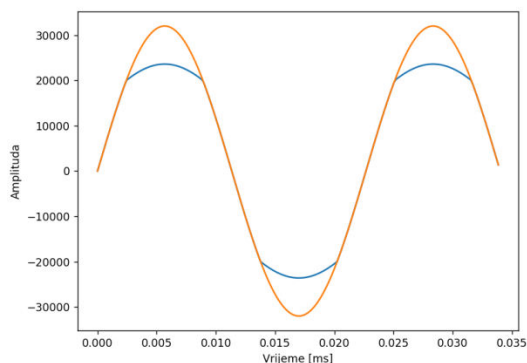
npr. flanger, fejzer, vremenski efekti kao npr. reverberacija i dilej [1].

A. Distorzija i overdrajv

Efekti koji se nalaze u skupu distorzije stvaraju "topao", "hrapav" i "nejasan" (eng. *fuzzy*) zvuk tako što zvuk dovode u saturaciju, tj. odsijecaju vrhove signala, čime se u zvuk dodaju tonovi viših frekvencija. Distorzija i overdrajv odsijecaju ili zaravnjuju vrhove signala, čime se uvode visoko-frekvencijske komponente u signal. Pedala za distorziju "tvrdo" zaravnjuje vrhove što je prikazano na Sl. 1, dok kod overdrajva zaravnjenje vrhova je postepeno i naziva se "mekano" zaravnjenje što je prikazano na Sl. 2. *Fuzz* efekat je tip overdrajv pedale koji odsijeca zvučni signal tako da on počinje da izgleda kao pravougaoni signal, čime se dobija veoma izobličen "nejasan" signal. Ovakve pedale se nazivaju *fuzzbox* pedale.



Slika 1. Overdrajv efekat (u plavom) primjenjen na sinusni signal (u žutom)



Slika 2. Efekat *distorzije* (u plavom) primjenjen na sinusni signal (u žutom)

Overdrav efekat se jednostavno matematički opisuje Jednačinom 1.

$$g(x) = \begin{cases} f(t), & |f(t)| \leq T_{prag} \\ T_{prag}, & f(t) > T_{prag} \\ -T_{prag}, & f(t) < -T_{prag} \end{cases} \quad (1)$$

U Jednačini 1, funkcija $f(t)$ je promjenljiva u vremenu i predstavlja polazni zvučni zapis. T_{prag} je vrijednost koju ulazni signal mora preći da bi na izlazu došlo do saturacije. Uopšteno, efekat *distorzije* se može opisati Jednačinom 2, pri čemu je A_p pojačanje prije nastanka *distorzije*, A_{ps} pojačanje nakon što je *distorzija* stupila na snagu.

$$f_{distorzija}(t) = \begin{cases} A_p \cdot f(t), & |f(t)| \leq T_{prag} \\ (f(t) \cdot A_{ps} + T_{prag} \cdot A_{ps}) - T_{prag} \cdot A_p, & f(t) < -T_{prag} \\ (f(t) \cdot A_{ps} - T_{prag} \cdot A_{ps}) - T_{prag} \cdot A_p, & f(t) > T_{prag} \end{cases} \quad (2)$$

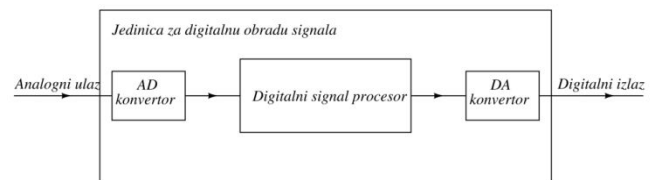
Prenosna funkcija *distorzije* je prikazana na Sl. 3.



Slika 3. Prenosna karakteristika *distorzije*

III. UPOTREBA DIGITALNE TEHNIKE U RAZVOJU PEDALE

Zvuk je analogna veličina. Ljudsko uho detektuje zvuk kao vazdušne vibracije pritiska u frekvencijskom opsegu od 20Hz do 20kHz. Uzimajući u obzir Nikvistov kriterijum, dolazi se do podatka da frekvencija odmjerenja treba da bude veća od 40kHz. Za muzičke potrebe, 16 bitna kvantizacija odmjeraka signala je dovoljna, ali za veći dinamički opseg koristi se 24 bitna rezolucija [2]. Obrada signala treba da bude takva da ne dolazi do zastoja i primjetnog kašnjenja u izlaznom signalu. Uprošteni blok dijagram je prikazan na Sl. 4.



Slika 4. Uprošteni blok dijagram jedinice za obradu signala

A. Dva su osnovna mehanizma za efikasnu obradu audio signala:

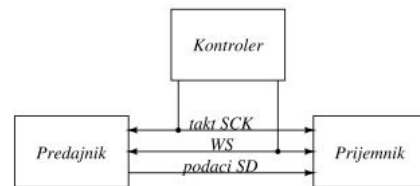
- 1) *I2S* protokol je interfejs projektovan sa namjerom prenosa zvučnih zapisa i moguće konfiguracije ovog protorkola prikazane su na Sl. 5 [3].



Predajnik kao MASTER



Prijemnik kao MASTER



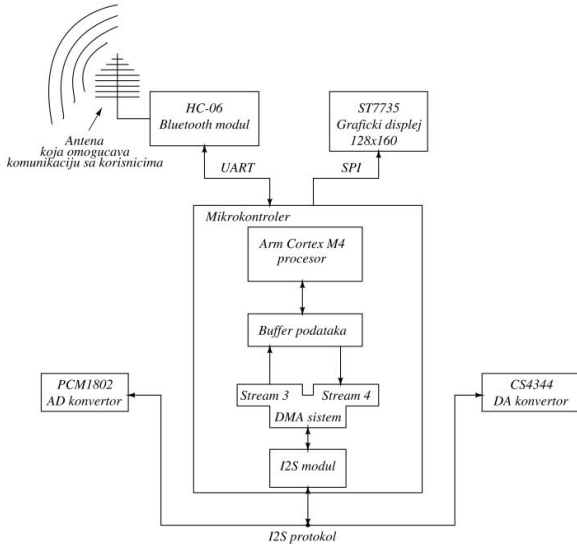
Kontroler kao MASTER

Slika 5. Tri moguće konfiguracije *I2S* protokola

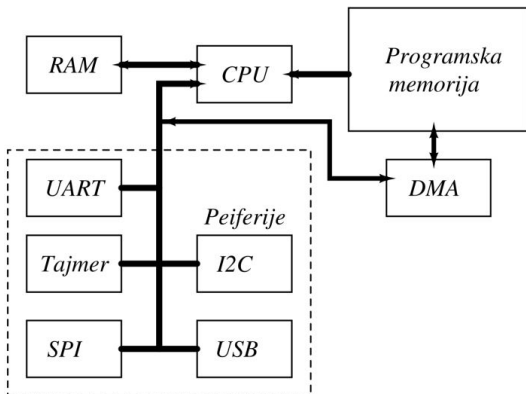
- 2) *Direktan pristup memoriji (DMA)*

Uloga *direktnog pristupa memoriji* (eng. *Direct Memory Access - DMA*) je u obavljanju prenosa podataka između različitih memorijskih lokacija, jednog ili više različitih modula. Na ovaj način se procesor oslobađa od upravljanja prenosom podataka, čime se dobija znatna ušteda procesorskog vremena. *DMA* perferija zauzima magistralu kada ona nije u upotrebi od strane procesora i uprošteni blok dijagram je prikazan na Sl. 7 [4].

B. Na blok dijagramu sa Sl. 6 je prikazan hardver koji se korsiti i način povezivanja na visokom nivou. AD konvertor i DA konvertor, preko I2S interfejsa prenose podatke u buffer podataka posredovanjem 2 različita DMA kanala (DMA stream 3 i DMA stream 4). Procesor obrađuje podatke iz buffera i ispisuje odgovarajuće podatke na displej. Bluetooth modul prima komande korisnika, koje se UART protokolom proslijeđuju do procesora. Buffer podataka je konfigurisan da radi kao ping-pong buffer.



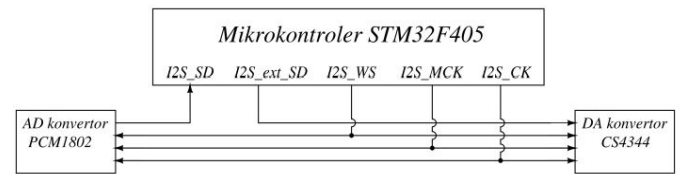
Slika 6. Blok dijagram hardverske konfiguracije



Slika 7. Računarski sistem sa DMA periferijom

IV. FIRMVER ZA DIGITALNU EFEKT PEDALU

U realizaciji se koristi samo jedan I2S modul mikrokontrolera (Sl. 6). Za očekivati je da se koriste dva I2S modula jer je potrebno opsluživati AD konvertor i DA konvertor od kojih oba imaju I2S interfejs. Proširenjem I2S protokola tako da on radi u punom-dupleksnom režimu moguće je postići prenos podataka sa oba modula upotrebom jedne I2S magistrale. AD i DA moduli rade po istim paramterima i nema gubitka informacija usljed neusaglašenosti oko rezolucije i frekvencije odmjeravanja. I2S periferija je podešena da radi u punom-dupleksnom režimu pri čemu je mikrokontroler u *master* ulozi što je prikazano na Sl. 8.



Slika 8. I2S protokol u punom-dupleksnom režimu

Upotrebom PLL modula unutar mikrokontrolera polazna frekvencija kvarcnog oscilatora od 8 MHz se povećava na 168 MHz. Prednosti veće radne frekvencije su brža obrada podataka i izvršenje algoritama, a mane su veća potrošnja električne energije. Pošto se efekt pedala napaja iz mreže i potrošnja pedale je mala u odnosu na neke druge potrošače koji se napajaju iz mreže, veća potrošnja usljed većeg radnog takta se može zanemariti.

I2S periferija mikrokontrolera, u *master* ulozi, diktira frekvenciju odmjeravanja. Koristi se frekvencija odmjeravanja od 48 kHz i skladno tome postavljena je radna frekvencija I2S periferije. Komunikacioni standard I2S protokola je *I2S Philips* koji podrazumijeva 8 bita preambule i 24 bita korisnih podataka.

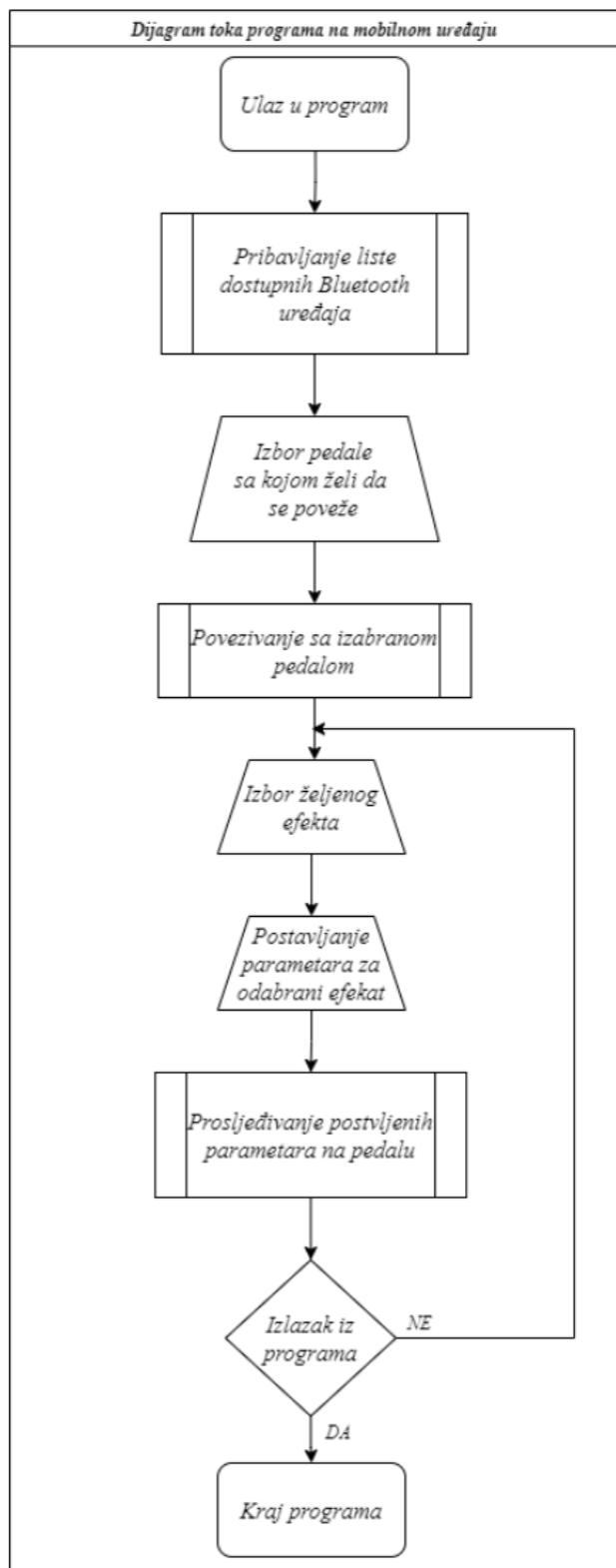
DMA periferija, unutar mikrokontrolera, se koristi da bi se prenijeli odmjeri sa AD konvertora u radni *buffer* nad kojim se izvršava željeni efekat i iz obrađenog *buffera* na DA konvertor radi reprodukcije zvuka. Osnova uloga DMA je prikupljanje podataka dobijenih preko I2S interfejsa, i ovo se odvija bez interakcije sa procesorom što je prikazano na Sl. 7. Ovo se obavlja preko dva toka i to *DMA Stream 4* i *DMA Stream 3*. Prvi *stream* je zadužen za prikupljanje podataka, a drugi za slanje. DMA je podešen tako da radi po principu kružnog *buffera*, tj. najstariji podaci u *bufferu* bivaju prepisani novim podacima, a u međuvremenu oni moraju biti obrađeni i ti obrađeni podaci proslijeđeni na izlaz prije nego se prepisu. Da bi ovo sve teklo bez zastoja i slučajnih kašnjenja koja mogu izazvati nepoželjne šumove u reprodukovanom zvuku, na mikrokontroleru, DMA je podešen da radi po principu *ping-pong buffera*. *Ping-pong buffer* u svojoj osnovi predstavlja, dva *buffera*, prilikom čega se nad jednim vrši obrada i slanje podataka, a nad drugim prijem novih podataka. Kada se ovaj jedan ciklus završi uloge ta dva *buffera* se zamjenjuju [5].

Za prijem komandi i izmjenu efekata, na mikrokontroleru se koristi UART periferija. Preko ovog interfejsa se dobija niz ASCII karaktera koji se obrađuje po prijemu 50 karaktera. Poruka koja se šalje ima tačno utvrđen format i iz nje se izdvajaju korisni podaci koji nose informaciju o tome koji efekat je odabaran i koji su njegovi parametri.

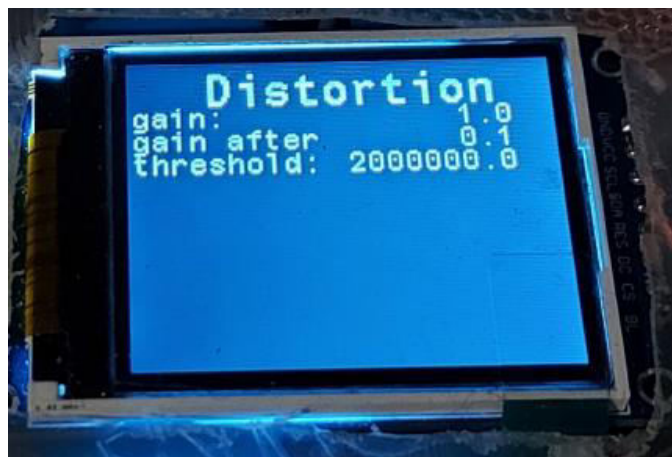
Displej je spojen na mikrokontroler pomoću SPI interfejsa.

Po pokretanju firmvera nakon obavljenih automatskih testiranja *hardvera* korisniku se, u zavisnosti od naredbi,

prikazuju različiti prozori za različite efekte kao npr. efekat distorzije na slici 10 i eho efekat na slici 11.



Slika 9. Dijagram toka aplikacije na mobilnom uređaju



Slika 10. Efekat distorzije

V. SOFTVER NA MOBILNOM UREĐAJU



Slika 11. Echo efekat

Korisniku se pristup komandama pedale omogućava putem mobilnog uređaja. Za digitalnu efekt pedalom razvijena je android aplikacija, sa nazivom *Digitalino*, koja se putem bluetooth protokola povezuje sa pedalom. Osnovni funkcionalni zahtjevi aplikacije su:

- 1) Povezivanje sa pedalom putem Bluetooth protokola
- 2) Omogućiti korisniku izbor efekta
- 3) Omogućiti korisniku podešavanje parametara efekta

Dijagram toka *Digitalino* aplikacije je prikazan na Sl. 9. Po ulazu u program, korisnik pokreće pribavljanje liste svih dostupnih *bluetooth* uređaja. Kada se skeniranje dostupnih uređaja završi lista se prikazuje i korisnik, pritiskom na željeni uređaj, bira pedalom. Izborom pedale, otvara se novi prozor u kome korisnik vrši izbor efekta koji će digitalna pedala raditi i podešava parametere koji se tiču datog efekta. Kada je efekat izabran i parametri podešeni, korisnik šalje te informacije na pedalom.

VI. ZAKLJUČAK

U radu su opisani dijelovi računarskog sistema namjenjenog za digitalnu obradu zvuka. Uz razvoj tehnologije elektronske komponente su postale pristupačne i razvijena su integrisana

kola i mikrokontroleri koji se koriste kao gradivni blokovi gotovo svih elektronskih uređaja. Ovakav pristup olakšava i ubrzava razvoj uređaja i glavni problem, tj. njegov funkcionalni dio se prenosi na viši nivo apstrakcije gdje funkcionalnost nije zavisna od korištenog hardvera. U slučaju digitalne efekt pedale, isti hardver se može koristiti za realizaciju bilo kog efekta. Kod ovakvog pristupa, većina vremena tokom razvoja, se posvećuje izradi *firmware*-a i *software*-a.

LITERATURA

- [1] David M. Brewster, "Introduction to Guitar Tone Effects", Hal Leonard, Avgust 2003.
- [2] Allen B. Downey, "Think DSP", Green Tea Press, 2020, pp. 143–146.
- [3] Louis E. Frenzel, "Handbook of Serial Communications Interfaces", Elsevier Science, 2015, poglavje 15.
- [4] Michael Barr, Anthony Massa, "Programming Embedded Systems", O'REILLY, 1999, pp. 148-160.

- [5] STM, "Using the STM32F DMA controller", ST Microelectronics, 2016.
- [6] Branko L. Dokić, "Digitalna elektronika", Akademska misao, Januar 2012.
- [7] Zdenka Babić, "Analiza i obrada kontinualnih signala", Elektrotehnički fakultet u Banjoj Luci, 2012.
- [8] Casey Reas, Ben Fry, "Processing: A programming Handbook for Visual Designers and Artists", MIT Press, Avgust 2007.

ABSTRACT

This project is a realization of a hardware device used for digital guitar effects. As an example effects, effect pedal incorporates amplification, distortion and echo. Along the hardware device, android "Digitalino" application has been developed. Digital pedal was tested in the real world environment with professional musicians. After the testing was done the conclusion was that the pedal satisfies the needs during the performance. Advantage of the digital effect pedal is that adding a new effect is only a matter of firmware and application update and there is no need to change hardware.

Digital effect pedal

Damjan Prerad, Branko Blanuša