

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTRONSKOG FAKULTETA U NIŠU

Predmet: Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije mr Dragane U. Živaljević

Odlukom Nastavno-naučnog veća Elektronskog fakulteta u Nišu br. 07/03-025/17-003 od 25.05.2017. godine, imenovani smo u Komisiju za ocenu i odbranu doktorske disertacije mr Dragane U. Živaljević pod naslovom

DIREKTNA SINTEZA DIGITALNIH FILTERA ZA PODOPSEŽNO KODOVANJE

Posle detaljnog pregleda navedene doktorske disertacije, podnosimo sledeći

Примљено	23.10.17
Број	
07/03-025/17-004	

IZVEŠTAJ

Doktorska disertacija mr Dragane U. Živaljević pod naslovom "Direktna sinteza digitalnih filtera za podopsežno kodovanje" izložena je na 121 stranici formata A4 i sadrži 138 slika i 10 tabela. Disertacija ima logičan tok i precizno je jezički formulisana. Podeljena je na šest glava: Uvod, Osnovni teorijski principi sistema za podopsežno kodovanje, Nova banka filtera pogodna za podopsežno kodovanje, Korekcija faznog izobličenja u IIR bankama filtera, Zaključak i Prilozi. Na kraju disertacije dat je spisak korišćene literature, koji sadrži 102 bibliografske jedinice. Disertacija je rađena u LaTeX paketu.

U Uvodu je istaknut značaj obrađene teme, data je kritička analiza radova koji se odnose na predmet disertacije, predloženi su osnovni ciljevi i izložena je organizacija disertacije. Diskretni sistemi sa višestrukim odmeravanjem (*multirate* sistemi) imaju primenu u obradi audio signala, obradi slike, obradi video signala, tehnikama za otklanjanje šuma, skremblovanju, adaptivnoj obradi signala, implementaciji wavelet transformacija itd. Veliki broj primenjenih tehnika u ovoj oblasti bazira se na tzv. podopsežnom kodovanju koje se implementira pomoću kvadrature banki filtera (QMF - Quadrature Mirror Filter banks).

Dvokanalna banka filtera predstavlja osnovni gradivni blok za realizaciju višekanalne banke filtera. U dvokanalnim QMF bankama, ulazni signal se razdvaja na dva frekvencijska podopsega, koji se dalje pojedinačno obrađuju sa nižom frekvencijom odmeravanja a zatim na izlazu formiraju ponovo jedan kompozitni signal. Na taj način moguće je postići smanjenje kompleksnosti prilikom realizacije, smanjenje zahteva za memorijskim skladištenjem, veća brzina rada itd. Prilikom projektovanja banki filtera važno je postići dobru frekvencijsku selektivnost između podopsega i u isto vreme zadovoljavajuću rekonstrukciju ulaznog signala pri čemu je idealno da izlazni signal bude zakasnela replika ulaznog signala. U ovoj glavi data je podela banki filtera u zavisnosti od vrste filtera koji se primenjuju. U nastavku je izvršena analiza uslova koje treba ispuniti prilikom realizacije, pri čemu su navedene prednosti i nedostaci ovakvih sistema. Takođe, dat je i istorijat razvoja banki filtera, podopsežnog kodovanja i ostalih aspekata *multirate* sistema.

U drugoj glavi dati su osnovni teorijski principi koji se odnose na dvokanalnu rekurzivnu kvadraturnu banku filtara. Kako su u tezi detaljno obrađene dvokanalne QMF banke filtara sa beskonačnim impulsnim odzivom (IIR – Infinite Impulse Response) i približno savršenom rekonstrukcijom (NPR – Near Perfect Reconstruction), opisani su osnovni delovi ovakvih sistema, princip rada i nabrojana izobličenja koje treba prevazići prilikom realizacije. U sklopu toga, izvršena je analiza transformacije digitalnog signala kada se on dovede na ulaz banke filtara. Pokazano je da izlazni signal, koji zavisi od ulaznog signala i prenosnih funkcija filtarskih banki analize i sinteze, u sebi nosi amplitudsko izobličenje, fazno izobličenje i preklapanje spektra (*aliasing*). Kako je cilj projektovanja banki filtara obezbediti da izlazni signal banke filtara bude zakasnela replika ulaznog signala, ova izobličenja treba potisnuti, što određuje dalji tok projektovanja. Komponenta izlaznog signala, nastala usled *aliasinga*, koji se javlja kao posledica preklapanja spektra niskopropusnog i visokopropusnog filtra, poništena je adekvatnim izborom niskopropusnih i visokopropusnih filtara u banci sinteze. Dalje, na filtre analize i sinteze primenjena je polifazna reprezentacija tj. usvojeno je da su polifazne komponente *allpass* funkcije, čime je iz funkcije distorzije eliminisano amplitudsko izobličenje pa preostaje fazno izobličenje određeno faznom karakteristikom niskofrekvencijskog filtra.

Treća glava posvećena je definisanju niskopropusne prototipske funkcije na osnovu koje se dalje generišu filtri analize i sinteze kao gradivni blokovi banki filtara. Poseban naglasak stavljen je na izbor niskopropusnog prototip filtra koji je potrebno definisati na samom početku projektovanja banke filtara, a koji dalje specificira filtre analize i sinteze. Izbor NF prototipskog filtra je najvažniji korak u projektovanju banke filtara jer sve ostale karakteristike sistema proističu iz njegovih karakteristika. Generalno gledano, postoji veliki broj mogućnosti za izbor prenosne funkcije prototipa NF filtra a optimalan izbor je uvek prilagođen konkretnoj primeni. Od poznatih filtara, komplementarnu dekompoziciju moguće je izvesti samo kod Butterworthovog i Eliptičkog filtra, s obzirom da je neophodan uslov da budu komplementarni po snazi tj. da karakteristika slabljenja ima jednak broj ekstremuma u propusnom i nepropusnom opsegu. Tako samo njihove prenosne funkcije ispunjavaju potrebne i dovoljne uslove da bi se primenile kao prototipska funkcija.

U ovoj glavi predložena je direktna sinteza nove klase rekurzivnih digitalnih filtara, kao prototipske funkcije koja zadovoljava uslov za komplementarnu dekompoziciju. Ova klasa filtara nazvana je Prelazna klasa filtara jer se njene karakteristike prostiru između karakteristika Butterworthovog i Eliptičkog filtra. Njena prenosna funkcija projektovana je tako da zadovoljava sve uslove komplementarne dekompozicije tj. svi polovi banke filtara nalaze se na imaginarnoj osi, a sve nule leže na jediničnom krugu čime je ispunjen uslov minimalne faze.

Opisan je proces projektovanja Prelaznih filtara za klase funkcija sa jednom, dve, tri i četiri konačne nule prenosa. Izračunavanje koeficijenata prenosne funkcije Prelazne klase filtara formulisano je kao inverzni problem. Data je prenosna funkcija kvadrata amplitudske karakteristike Prelaznih IIR filtara. Primenjen je numerički postupak za utvrđivanje ekstremnih vrednosti karakteristike slabljenja, u cilju da se ova funkcija podesi tako da ima mini-maks (*equiripple*) karakteristiku u propusnom i nepropusnom opsegu. Dalje, primenom odgovarajuće frekvencijske promenljive, dobijena je prenosna funkcija niskopropusnog filtra u digitalnom domenu sa svim polovima na imaginarnoj osi i svim nulama na jediničnom krugu u z ravni. Zatim su usvojeni polovi koji leže unutar jediničnog kruga na osnovu kojih je dobijena digitalna prenosna funkcija prototipskog NF filtra. Ova funkcija je razložena na dva

allpass filtra komplementarnom dekompozicijom. Konačno, niskopropusni i visokopropusni filtri, kao komplementarni par, izvedeni su iz ovih *allpass* filtara.

Za klasu Prelaznih filtara sa jednom konačnom nulom prenosa izvedeni su koeficijenti prenosne funkcije u zatvorenom obliku što značajno olakšava postupak projektovanja. Primena ovako dobijenih koeficijenata je značajna jer se pri konverziji frekvencije odabiranja zahteva filtar sa najmanjom mogućom kompleksnošću.

Za sve klase Prelaznih filtara date su karakteristike slabljenja uporedno sa Butterworthovim i Eliptičkim karakteristikama slabljenja kako bi se ustanovile prednosti i mane predloženog filtra u odnosu na ova dva filtra. Takođe su u tabelama date vrednosti polova i nula za sve klase Prelaznih filtara. Karakteristike slabljenja na svim graficima date su za minimalnu vrednost slabljenja u nepropusnom opsegu od 40dB kako bi se omogućilo poređenje svih tipova filtara. Na polovini frekvencijskog opsega vrednost slabljenja iznosi 3dB s obzirom da su u pitanju *halfband* filtri.

Za Prelaznu klasu filtara sa jednom konačnom nulom izvršeno je poređenje karakteristika slabljenja za isti stepen višestrukosti konjugovano-kompleksne nule prenosne funkcije a za različiti red filtra. Zatim je prikazano poređenje ovih karakteristika za isti red filtra ali za različite stepene višestrukosti. Dati su položaji polova i nula za peti, sedmi, deveti i jedanaesti red filtra kao i odgovarajući koeficijenti prenosnih funkcija. Takođe je izvršeno poređenje Prelazne klase filtara petog, sedmog, devetog i jedanaestog reda sa Butterworthovim i Eliptičkim filtrom istog reda. Zaključeno je da Prelazni filtri imaju bolju selektivnost u odnosu na Butterworthov filtar, a nešto lošiju u odnosu na Eliptički. Međutim, kako je Eliptički filtar projektovan korišćenjem bilinearne transformacije, njegovi polovi nisu čisto imaginarni a realni delovi polova se povećavaju sa povećanjem reda filtra. Ovo dovodi do greške kod amplitudske karakteristike visokofrekvencijskog filtra, što znači da Prelazni filtri postižu veću tačnost pri komplementarnoj dekompoziciji u odnosu na Eliptičke filtre.

Opisan je postupak komplementarne dekompozicije Prelazne klase filtara na dva *allpass* filtra čije su prenosne funkcije takođe date za peti, sedmi, deveti i jedanaesti red filtra. Za sve ove mogućnosti prikazane su karakteristike slabljenja NF/VF komplementarnog para, dobijenog sabiranjem/oduzimanjem prenosnih funkcija *allpass* filtara. Za klasu Prelaznih filtara sa po dva ekstremuma u propusnom i nepropusnom opsegu date su *halfband* karakteristike slabljenja za sedmi, deveti, jedanaesti i trinaesti red. Za klasu Prelaznih filtara sa po tri ekstremuma u propusnom i nepropusnom opsegu date su *halfband* karakteristike slabljenja za deveti i jedanaesti red a za klasu prelaznih filtara sa po četiri ekstremuma u propusnom i nepropusnom opsegu za jedanaesti i trinaesti red. Za sve slučajeve dati su položaji polova i nula tabelarno i grafički kao i koeficijenti prenosnih funkcija. Objasnjen je postupak komplementarne dekompozicije, date su prenosne funkcije *allpass* filtara i prikazane odgovarajuće karakteristike slabljenja dobijenih NF/VF komplementarnih parova.

Na osnovu dobijenih rezultata došlo se do sledećih zaključaka:

- (a) Predložena klasa Prelaznih filtara za sintezu dvokanalne banke filtara, ima polove sa čisto imaginarnim delom čime je obezbeđena visoka tačnost pri komplementarnoj dekompoziciji koju Eliptički filtar ne može postići standardnom metodom aproksimacije.
- (b) Praktična realizacija nove klase je jednostavnija u odnosu na Eliptički filtar s obzirom da ima višestruku nulu u $z = -1$ i da može da ima manje parova konjugovano-kompleksnih nula na jediničnom krugu.
- (c) Polovi Eliptičkog filtra nagomilani su u okolini ivice propusnog opsega i rastojanje između njih se smanjuje sa porastom reda filtra. Ovo zahteva veliku dužinu digitalne reči za

implementaciju filtera visokog reda. Nova klasa ima aproksimativno ekvidistantni raspored polova na imaginarnoj osi pa se može realizovati sa manjom dužinom digitalne reči u odnosu na Eliptički filter.

(d) Nova klasa predloženih filtera ima veću stabilnost u odnosu na Eliptički filter s obzirom da su polovi smešteni bliže koordinatnom početku, odnosno dalje od jediničnog kruga.

Da bi predložena originalna rešenja bila potpuna i imala praktičan značaj, u četvrtoj glavi disertacije predložena je korekcija faznog izobličenja koje je preostalo posle eliminacije *aliasinga* i amplitudskog izobličenja opisanog u drugoj glavi. Fazno izobličenje potiče od nelinearnih faznih karakteristika *allpass* filtera u prenosnoj funkciji distorzije QMF banke i njegova korekcija izvedena je uvođenjem faznih korektora čije se prenosne funkcije dobijaju primenom MATLAB softvera. Kaskadnim povezivanjem faznih korektora sa postojećim *allpass* funkcijama može se dobiti grupno kašnjenje sa mini-maks karakteristikom. U okviru ovog razmatrana je korekcija grupnog kašnjenja kod QMF banke Prelaznog tipa filtera, Butterworthovog i Eliptičkog filtra pri čemu je izvršena i analiza uticaja reda faznog korektora na tačnost rekonstrukcije signala. Treba napomenuti da se isti fazni korektori mogu primeniti i na niskopropusnu i na visokopropusnu funkciju banke filtera s obzirom da se polovi prenosnih funkcija niskopropusnog i visokopropusnog filtra poklapaju na imaginarnoj osi, dok njihove nule prenosa leže na jediničnom krugu u z -ravni pa nemaju uticaja na faznu karakteristiku filtra.

U petoj glavi sumirani su rezultati disertacije kroz precizno definisane doprinose i izvedeni zaključci do kojih se došlo tokom rada na disertaciji. Jedan deo prikazanih rezultata verifikovan je u nekoliko naučnih radova objavljenih u međunarodnim časopisima i zbornicima sa međunarodnih i domaćih konferencija, što je i citirano u okviru literature. Takođe su dati mogući pravci daljeg usavršavanja na ovom polju.

U šestoj glavi pokazani su principi komplementarne dekompozicije na konkretnim primerima poznatih filtera i razrađeni su osnovni pojmovi koji se pominju u disertaciji: pojam polifazne reprezentacije, dekompozicije na *allpass* filtre i projektovanje NF/VF frekvencijskog para. S obzirom da su oni već detaljno opisani u navedenim referencama, ovde je napravljen samo kratak pregled njihovih definicija kako bi se olakšalo praćenje toka disertacije.

Rezultati iz ove disertacije predstavljaju značajan doprinos razvoju teorije podopsežnog kodovanja koje treba da omogući efikasan prenos signala uz zadovoljavajući kvalitet i prihvatljivu kompleksnost. Data su rešenja koja omogućavaju generalizaciju generisanja prototipske funkcije. Postupkom komplementarne dekompozicije omogućeno je da se isti hardver koristi za realizaciju niskopropusnog i visokopropusnog dela banke filtera čime se postiže značajna ušteda pri implementaciji.

ZAKLJUČAK

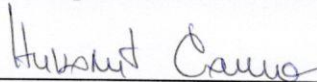
Na osnovu uvida u podnetu doktorsku disertaciju i urađene detaljne analize, može se zaključiti da doktorska disertacija mr Dragane U. Živaljević sadrži niz originalnih naučnih doprinosa u razvoju digitalnih filtera sa podopsežnim kodovanjem, kojima su prevaziđeni neki od postojećih nedostataka i ograničenja. Rezultati istraživanja su od značaja, kako sa naučnog, tako i sa stanovišta mogućnosti praktične primene.

Imajući u vidu značaj obrađene problematike i ostvarene naučne rezultate kandidata, komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu da prihvati ovaj izveštaj i da kandidatu **mr Dragani U. Živaljević** odobri usmenu odbranu doktorske disertacije pod naslovom **Direktna sinteza digitalnih filtera za podopsežno kodovanje**.

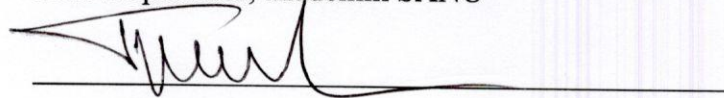
Niš, 10.10.2017.

Članovi Komisije,

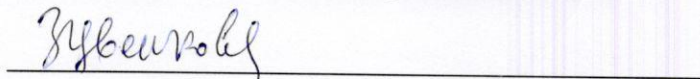
Dr Saša Nikolić,
vanredni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu



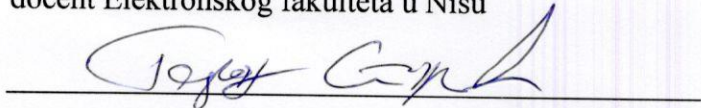
Dr Gradimir Milovanović,
redovni profesor, akademik SANU



Dr Zlata Cvetković
redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu



Dr Goran Stančić
docent Elektronskog fakulteta u Nišu



Dr Nebojša Raičević
vanredni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu

