

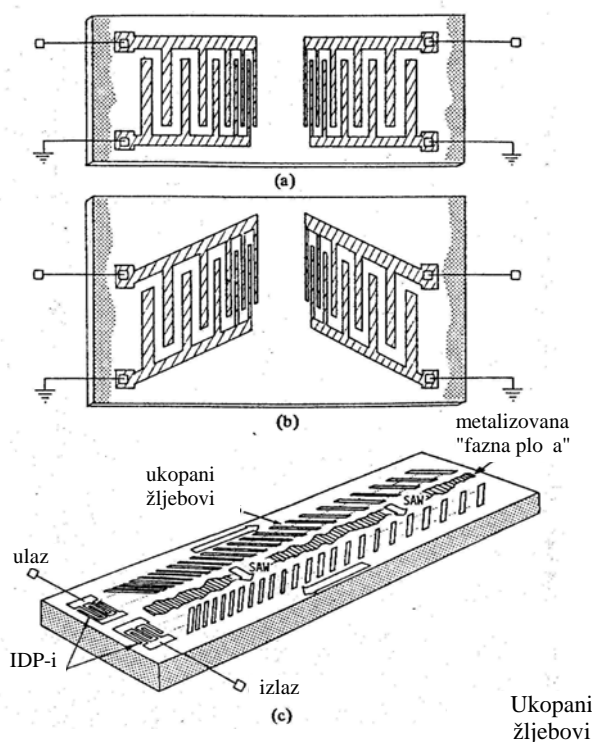
Analogni procesori sa površinskim akustičkim talasima

Mr Zdravko R. Živković, dipl.inž.¹⁾

Izloženi su principi razvoja i implementacije procesora sa površinskim akustičkim talasima (PAT). Analiziran je njihov rad i pokazano da se specifičnim konfiguracijama ovih analognih procesora može vršiti složena obrada signala u širokom frekventnom opsegu (desetine megaherca), što ih čini pogodnim za primenu u radarima, sonarima i telekomunikacijskim uređajima. Razmotrena je i primena PAT procesora kao spektralnih i mrežnih analizatora. Prezentiran je na kraju na koji se kombinacijom više procesora mogu realizovati sofisticirane funkcije obrade signala kao što su spektralna analiza i adaptivno filtriranje.

Ključne reči: algoritam PAT površinske transformacije, linearni FM površinski filter, RAC filter, PAT procesor, spektralna analiza, spektralni procesor.

od piezoelektrnog materijala, npr. kvarc. Elektrode su obi no raspore ene neuniformno kako bi proizvele disperziju odziva filtra, i u kombinaciji s promenljivim preklapanjem elektro-da mogu e je ostvariti nezavisno podešavanje amplitudske i frekventne karakteristike filtra. Time se stvara mogu nost za realizaciju širokog spektra irp funkcija. Projektovanje filtera se ostvaruje kombinacijom širokopojasnih nedisperzivnih IDP s disperzivnim, ili se pak disperzija deli izme u njih. Konfiguracija na sl.1a koristi IDP u liniji, dok je aranžman na sl.1b sa interdigitalnim pretvara ima pod nagibom, za redukciju parazitnih interakcija.



Slika 1. Konfiguracija PAT irp filtera: a) IDP u liniji, b) IDP pod nagibom, c) RAC struktura

Ulaz

Drugi tip izvedenog PAT irp filtera je takozvani RAC filter. On se sastoji od dva interdigitalna pretvara a i dva niza prepreka, reflektora, u obliku ukopanih plitkih žlebova. Pretvara i služe za konverziju elektri nog signala u akustiki i obrnuto. Svaki od reflektora savija akustiki talas za 90° formiraju i strukturu U oblika. Željeni oblik amplitudske i fazne karakteristike se ostvaruje promenom geometrije i IDP-i reflektora. RAC filteri imaju pogodnost da se razna greška može kompenzovati primenom metalizovane fazne plo e, sl.1c. Uporedni pregled performansi PAT irp filtera je dat u tabeli 1.

Tabela 1

Centralna frekvencija (MHz)	10 – 1500	60 – 2000
Propusni opseg (MHz)	1 – 750	1 – 1000
Disperzija (μs)	0.1 – 80	0.5 – 150
TB proizvod	4 – 2000	10 – 50 k
Varijacija amplitude (dB p-p)	0.1	0.5
Fazna greška (°)	0.2	0.5
Potiskivanje bo nih snopova (dB)	- 50	- 45

Prezentirani podaci pokazuju da se RAC elementima

ostvaruju znatno ve e vrednosti TB proizvoda nego sa IDP irp filterima, ali im je mana to što nisu stabilni kao IDP filteri, sa starenjem i promenama temperature, te ne mogu da ostvare dovoljno nizak nivo bo nih snopova.

Algoritam irp transformacije i njegova implementacija PAT elementima

Kod linearnih irp filtera, ije je kašnjenje linearna funkcija trenutne frekvencije ulaznog signala, impulsni odziv ima oblik [3]:

$$h(t) = e^{j2\pi f_0 t} \cdot e^{j\mu t^2}, |t| \leq \frac{T}{2} \quad (1)$$

gde su $\mu = \pi B/T$, a B/T -strmina promene trenutne frekvencije, (B -propusni opseg, T -disperzija).

U vremenskom domenu izlazni signal filtra je konvolucija ulaznog signala i impulsnog odziva, što u našem slu aju, pošto se lan $\exp(j2\pi f_0 t)$ može zanemariti, daje izraz slede eg oblika:

$$S(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{j\mu(t-\tau)^2} dt \quad (2)$$

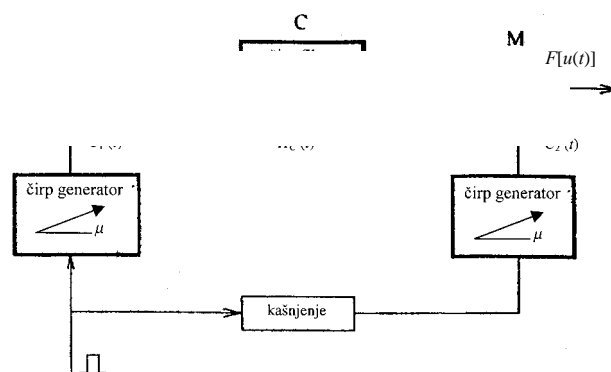
Konvolucija (2) predstavlja Frenelovu transformaciju ulaznog signala $u(t)$ pomnoženog sa signalom irpa $s(t) = u(t) \cdot \exp(j\mu t^2)$, a filter koji obavlja ovu operaciju zove se konvolver. Zbog efekta koji dovodi do kompresije ulaznog signala u uski izlazni impuls, esto se koristi i izraz kompresioni filter. Množe i izlaz filtra još jednom sa signalom irpa, $S(\tau) \cdot \exp(j\mu \tau^2)$, dobija se Furijeova trans-formacija ulaznog signala Metalizovana "fazna plo a"

$$F[u(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) e^{-j(2\mu\tau)t} dt \quad (3)$$

gde je transformaciona promenljiva $\omega \equiv 2\mu\tau$.

Prema tome, postupak obrade signala koji bi se sastojao u prethodnom množenju ulaznog signala sa signalom kompleksnog irpa, zatim kompleksne konvolucije s irpom (Frenelova transformacija) i još jednog množenja s irpom koji rezultuje Furijeovom transformacijom, predstavlja algoritam irp transformacije signala.

Implementacija irp transformacije PAT elementima ostvaruje se strukturom prikazanom na sl.2, uz upotrebu konvencionalnih meša kih kola, gde nagibne linije ozna avaju znak i veli inu nagiba irpa. Shodno redosledu i strukturi operacija prezentirani sklop PAT- irp procesora može se ozna iti kao M-C-M (Multiply-Convolve-) konfiguracija.



Slika 2. PAT procesor signala

Zamenom operacija konvolucije i množenja mogu e je dobiti alternativni aranžman procesora tipa C-M-C konfiguracije (Convolve-Multiply-Convolve). Za ovaj aranžman se mogu izvesti sli ne relacije kao i za gore prikazani, ali njihova analiza [1], pokazuje da je ovaj sklop manje pogodan za projektovanje Furijeovog procesora, te se kao osnovna struktura za razvoj PAT procesora može usvojiti M-C-M konfiguracija.

Za PAT implementaciju M-C-M konfiguracije procesora pogodno je upotrebiti komplementarne strukture PAT linearnih irp filtara, kompresore i ekspandore. Tako, u kolu procesora na sl.2, PAT ekspandor se koristi za generisanje preciznog linearnog irp signala koji se koristi kao svipuju i lokalni oscilator dok se konvolucija izvršava pomo u PAT kompresora.

Analiza rada PAT procesora

U odnosu na relativno trajanje signala irpa T_M na prvom množa u i impulsnog odziva kompresionog filtra T_C , postoje dva tipa M-C-M konfiguracije procesora [1,2]:

1. M(s)-C(l)-M gde je $T_M < T_C$ i
2. M(l)-C(s)-M gde je $T_M > T_C$

Upotrebljena notacija (l) označava dugo trajanje irpa a (s) označava kratko trajanje irpa. U najvećem broju sluajeva PAT procesori se koriste u M(s)-C(l)-M konfiguraciji filtara u kojoj je signal irpa na prvom množa u kratak u pore enju s impulsnim odzivom kompresionog filtra. Drugo množenje, koje je važno da bi se zadržala informacija o trenutnoj fazi signala, može se izostaviti u primenama gde ova informacija nije važna.

Prema [1] impulsni odziv PAT irp filtara primenjenih u M-C-M PAT procesoru na sl.2, može se pogodno predstaviti u obliku :

$$C_1(t) = \prod \left\{ \frac{t-t_1}{T_1} \right\} \cdot W_1(t) \cdot \cos \left\{ \omega_1 t - \frac{1}{2} \mu t^2 + \phi_1 \right\} \quad (4)$$

gde su: $\prod \{(t-t_1)/T_1\}$ pravougaona prozorska funkcija trajanja T_1 centrirana na $t=t_1$; $W_1(t)$ proizvoljna težinska funkcija; ϕ_1 fazni lan koji uzima vrednosti 0 ili $\pi/2$, a μ parametar koji odgovara disperzivnom nagibu irp filtra (strmina promene trenutne frekvencije).

Ciklus rada procesora se inicira dovo enjem kratkotrajnog impulsa na ekspandor. Ulazni signal $u(t)$, doveden na ulaz PAT procesora, posle predmnoženja sa $C_1(t)$ i prolaska kroz kompresor $H_C(t)$, sl.2, proizvodi odziv dat konvolucionim integralom. Za slu aj M(s)-C(l)-M konfiguracije procesora i koriste i (4), dobija se slede i izraz:

$$S(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\tau \cdot u(\tau) \cdot \prod \left\{ \frac{\tau - \frac{1}{2} T_M}{T_M} \right\} \cdot C_1(\tau) \cdot \prod \left\{ \frac{t-\tau - \frac{1}{2} T_C}{T_C} \right\} \cdot H_C(t-\tau) \quad (5)$$

Ako se analizira uticaj prozorskih funkcija na ovaj izraz, vide e se da njihov proizvod raste linearno s vremenom za $t > 0$ dostižu i maksimalnu vrednost za $t = T_M$ koju potom zadržava u intervalu $T_M \leq t \leq T_C$. Maksimalna vrednost proizvoda u tom intervalu, koji odgovara konvoluciji $s(t)$ u

$H_C(t)$, formira e deo izlaza bitan za odre ivanje Furijeovog spektra. U tom sluaju, uzimaju i za $W_n(t)$ vrednost jedan, izlaz iz filtra e biti:

$$S(t) = \prod \left\{ \frac{t-t'}{T'} \right\} \int_{-\infty}^{+\infty} d\tau \cdot \hat{u}(\tau) \cdot \cos \theta_1(\tau) \cdot \cos \theta_C(t-\tau) \quad (6)$$

gde je:

$$\theta_1(t) = \omega_1 t - \frac{1}{2} \mu t^2 + \phi_1 \quad (7)$$

$$\hat{u}(t) = u(t) \prod \left\{ \frac{t - \frac{1}{2} T_M}{T_M} \right\} \quad (8)$$

$$t' = \frac{1}{2} (T_M + T_C) \quad T' = T_C - T_M \quad (9)$$

Množenje kosinusnih lanova proizvodi lanove sa $(\omega_M + \omega_C)$ i $(\omega_M - \omega_C)$ pa se razvijanjem izraza pod integralom u (6) i potrebnim izra unavanjima, uz $u(t)$ realno, za odziv kompresionog filtra dobija:

$$S(t) = \prod \left\{ \frac{t-t'}{T'} \right\} \hat{U}(\Omega) \cos \left\{ \omega_C t + \frac{1}{2} \mu t^2 + \phi_C + \phi_M + \Phi(\Omega) \right\} \quad (10)$$

gde su: $\hat{U}(\Omega) = \hat{U}(\omega_C - \omega_M + \mu t)$ - Furijeova transformacija signala $\hat{u}(t)$, a $\Phi(\Omega)$ argument od $\hat{U}(\Omega)$.

Analiza izvedene relacije (10) pokazuje da realna ovojnica signala na izlazu kompresionog filtra $S(t)$, daje amplitudski spektar ulaznog signala u frekventnom opsegu:

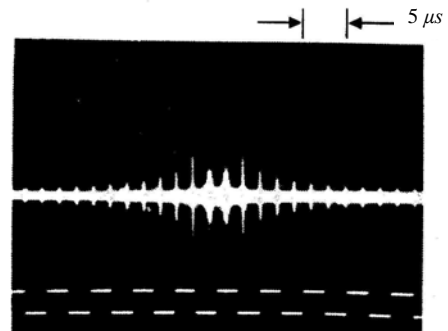
$$\omega_C - \omega_M + \mu T_M \leq \Omega \leq \omega_C - \omega_M + \mu T_C \quad (11)$$

a spektar snage u propusnom opsegu:

$$B = \mu (T_C - T_M) / 2\pi \quad (12)$$

Izvedena relacija za odziv kompresionog filtra (10) tako e ukazuje na postojanje fazne informacije $\Phi(\Omega)$ o transformaciji koja se može dobiti množenjem sa $C_2(t)$ u vremenskom intervalu definisanom sa (9).

Primer koji ilustruje operacije PAT irp procesora u obradi signala dat je na sl.3. Prikazani izlazni spektar je dobijen primenom kvadratnog talasnog oblika signala na ulazu procesora sa $T_B=400$ [2]. Najneposrednija primena PAT procesora je upravo spektralna analiza signala u realnom vremenu.



Slika 3. Operacije PAT procesora sa ulaznim signalom kvadratnog talasnog oblika

Me utim, za realizaciju traženih performansi procesora upotrebljeni kompresioni filter mora da bude sposoban da opsluži kompletno podru je frekvencija stvoreno

množenjem signala širine frekventnog opsega B_S sa irpom frekventnog opsega αT_M gde je T_M dužina irpa. Ukoliko je raspoloživi propusni opseg filtra $B_f = \alpha T_f$, gde je T_f totalno kašnjenje filtra, tada je maksimalno mogu a širina frekventnog opsega signala:

$$B_S = \alpha(T_f - T_M) \quad (13)$$

Stoga je potrebno dužinu irpa u initi znatno manjom od vremena kašnjenja filtra. Kako je dužina uzorka signala koji se može obra ivati, T_S jednaka vremenu trajanja irpa T_M , to je raspoloživi TB proizvod signala:

$$T_S B_S = \alpha(T_f - T_M) T_M \quad (14)$$

Njegova maksimalna vrednost se postiže za:

$$T_M = T_f / 2 \quad (15)$$

tako da je:

$$(B_S T_S)_{\max} = \frac{1}{4} (B_f T_f) \quad (16)$$

S obzirom da je $T_M = T_S$, neposredno sledi da je korisna širina opsega signala:

$$B_S = B_f / 2 \quad (17)$$

Važan parametar svakog procesora signala je i ostvarljiva frekventna rezolucija Δf_r . Koriste i (16) za ovaj parametar se dobija slede i izraz:

$$\Delta f_r = \frac{B_S}{(B_S T_S)_{\max}} = \frac{2}{T_f} \quad (18)$$

što je znatno manje nego kod obi nog disperzivnog filtra za faktor $(T_f B_f)^{1/2}$. Zna i, upotreba predmnoža kog irpa omogu uje znatno efikasnije frekventno razdvajanje nego direktna upotreba filtra kao jednostavnog diskriminatora.

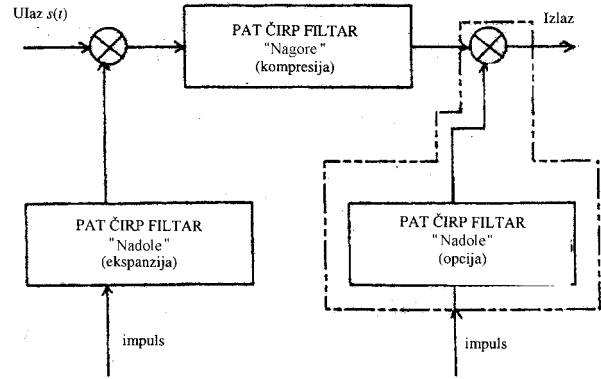
Ovaj relativno jednostavan rezultat ukazuje da analogni Furijeovi procesori mogu imati impresivne performanse. Me utim, pojava bo nih snopova u transformisanom izlazu može zna ajno umanjiti njihov efekat. Iz tog razloga primenjuju se postupci za potiskivanje bo nih snopova [5], kao što je upotreba prozorskih funkcija (Hemingova, Heningova itd.), ali po cenu slabije rezolucije procesora. Jedan primer implementacije PAT procesora je dat u [2]: centralna frekvencija irp filtra je 70 MHz, propusni opseg 17.6 MHz i kašnjenje 88 μ s. Upotreba Hemingovog prozora za poboljšanje odnosa glavni snop/bo ni snopovi rezultuje u TB proizvodu signala 260 tako da je frekventna rezolucija 37 KHz. Performanse su ostvarene upotrebom odbiraka signala od 44 μ s i rezultati su raspoloživi u realnom vremenu. Upotrebom savremenih PAT filtara, s velikim vrednostima TB proizvoda, npr. RAC filtara (TB >10 000) [4], mogu da se realizuju Furijeovi procesori visokih performansi sa više od 1024 transformacionih ta aka.

Primena PAT procesora

Analogni procesori signala sa PAT komponentama nalaze zna ajnu primenu u razli itim oblastima telekomunikacija. Pre svega, primenjuju se u radarima i sonarima, potom za spektralnu i mrežnu analizu a primenom inverzne irp transformacije mogu a je i sinteza

signala razli itih talasnih oblika. Sinteza signala otvara mogu nost primene u sistemima širokopojasne komunikacije s proširenim spektrom.

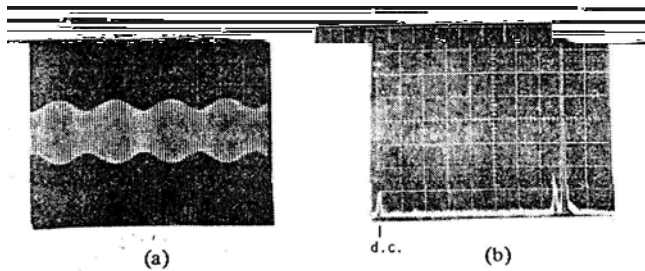
Shodno ve provedenoj analizi, individualni procesor se formira s irp filtrima s disperzijom "nagore" (ekspandor) i disperzijom "nadole" (kompresor), kao što je prikazano na sl.4.



Slika 4. Jednostepeni procesor M-C-M strukture

Jednostepeni procesor omogu uje realizaciju operacije Furijeove transformacije $S(2\pi\mu t)$ u realnom vremenu za spektralnu analizu (zahteva odre ivanje spektralne gustine snage signala) i mrežnu analizu (zahteva spektar snage i fazni spektar), gde je $\mu = B/T$ veli ina nagiba linearnog FM irpa. Pored ove primene za izra unavanje tzv. "vremenske" Furijeove transformacije, PAT procesori se mogu upo-trebiti i za "prostornu" Furijeovu transformaciju kao kod sonara, npr. za uobli avanje snopa i kompresiju impulsa u pasivnim prislušnim sistemima, kao i za dobijanje slike morskog dna. Hibridni PAT / digitalni procesori omogu uju obradu signala frekventnog opsega do 100 MHz i trajanja 100-200 μ s [7]. U takvim hibridnim sistemima do 100 snopova može biti upotrebljeno u slušnom opsegu od 10 Hz do 2 kHz. Upotrebom PAT irp filtara s propusnim opsegom $B=40$ MHz i $T=100$ μ s može se ostvariti rezolucija od 2 Hz nad 1000 ta aka.

Za brzu širokopojasnu spektralnu analizu signala kratkog trajanja (< 50 μ s) pogodno je za konfiguraciju spektralnog analizatora izabrati M(s)-C(1)-[M] sklop, koji daje veran spektar signala koji se dešava unutar predmnoža kog intervala. S druge pak strane, kod spektralne analize signala dugog trajanja, zbog pojave visokih bo nih snopova vrši se njihovo potiskivanje primenom prozorskih funkcija, ime se oblikuje izlazni spektar iz procesora. Prakti ne teško e u izvo enju ovog postupka ine upotrebu M(1)-C(s) konfiguracije pogodnijom za navedene namene. Operacije PAT spektralnog analizatora u M(1)-C(s) modu, za sluj CW signala prikazane su na sl.5. Ulazni signal, sl.5a, sastoji se od dve sinusoide nivoa snage -20 dBm na 4.0 MHz i -33 dBm na 3.77 MHz. Izlazni spektar dat na sl.5b, ponderisan je da ostvari nivo bo nih snopova od -35 dB. Propusni opseg procesora je 25 MHz sa 500 transformacionih ta aka.



Slika 5. Operacije PAT spektralnog analizatora (M(l)-C(s)): a) ulazni signal, b) izlazni spektar

Razvoj širokopojasnih PAT Furijeovih procesora je omoguio njihovu upotrebu u sistemima mrežne analize u obliku mrežnih analizatora različitih PAT konfiguracija. U suštini, M(s)-C(l)-M procesor uspešno zamenjuje digitalno implementirane FFT procesore u mrežnim analizatorima omoguivaju i operacije u realnom vremenu. Mogućnosti PAT mrežnog analizatora projektovanog na osnovu M(s)-C(l)-M aranžmana procesora prikazane su na sl.6, u slučaju da se testira širokopojasni filter (± 5 MHz, 3 dB propusnog opsega) na 145 MHz centralne frekvencije. Amplitudni i fazni odziv dobijen ovim PAT analizatorom, sl.6a, poredi se sa onim dobijenim konvencionalnim analizatorom sa svipovanjem frekvencije, sl.6b.

PAT procesorska tehnika može korisno da se upotrebi za dvodimenzionalno snimanje terena radarom. Primena radara uključuje elektronski podržano merenje za brzu spektralnu analizu dolaznih signala. Tako je u [7] opisana aplikacija PAT transformatora sa 512x512 digitalnih ulazno / izlaznih tačaka, za analizu signala u realnom vremenu, opsega modulacionih frekvencija od 4 MHz. Digitalni ulaz je kodiran u osam kompleksnih bita i konvertovan u signal realnog vremena sa 8 MHz frekventnog opsega i 64 μ s linijskog vremena. Potom se vrši procesiranje sa dva PAT procesora implementirana sa dva filtera koji su TB proizvodi $T_1B_1=64 \mu$ s x 8 MHz i $T_2B_2=128 \mu$ s x 16 MHz, sa 27 dB procesnog pojačanja.

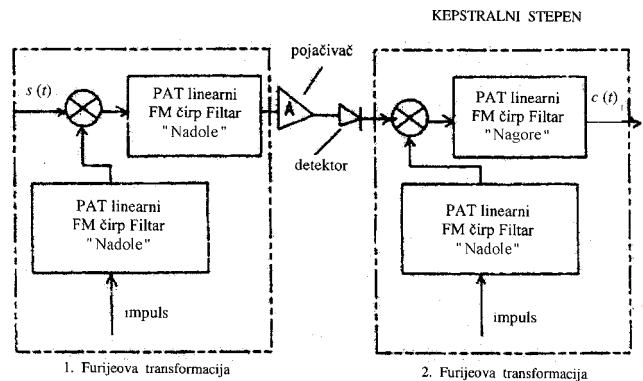
Sofisticirani PAT procesori

Upotrebom kombinacije više PAT Furijeovih procesora sa drugim elementima kola moguće je realizovati sofisticirane funkcije u obradi signala kao što su npr. kepstralna analiza, programabilna korelacija ili filtriranje propusnikom opsega sa promenljivim opsegom. Princip se sastoji u tome da se izvrši modifikacija (editovanje) izlaza prethodnog procesorskog stepena, nekom spoljašnjom programiranom funkcijom, pre transformacije signala u sledećem procesorskom stepenu.

Dvostepeni procesor za kepstralnu analizu

Kepstralna analiza signala omoguivava ispitivanje periodičnih efekata u frekventnom domenu vezano za eho talasne oblike. U principu, obrada signala kepstralnom tehnikom se zasniva na upotrebi digitalnih sistema koji nisu procesori realnog vremena. Ovi softverski sistemi se koriste recimo u procesiranju slike.

Međutim, kepstralna analiza signala u realnom vremenu može se takođe implementirati pomoću PAT filtera procesora. Tako, PAT kepstralni procesor može da se realizuje sa dva Furijeova procesora razdvojena logaritamskim pojačavanjem, kao što je dato u šemi na sl.7.



Slika 7. PAT kepstralni procesor u realnom vremenu

Kepstralna snaga $C(\tau)$ vremenski zavisnog signala $s(t)$ sa spektrom $S(\omega)$ je [6]:

$$C(\tau) = \left| FT \left\{ \log \left| FT \{ s(t) \} \right|^2 \right\} \right|^2 \quad (19)$$

gde FT označava Furijeovu transformaciju.

Za slučaj da je signal $s(t)$ deformisan malim periodičnim odjekom amplitude β i kašnjenja τ , mešoviti spektar snage $|D(\omega)|^2$ se aproksimira izrazom [7]:

$$|D(\omega)|^2 = |S(\omega)|^2 \cdot (1 + 2\beta \cdot \cos(\omega\tau) + \beta^2) \quad (20)$$

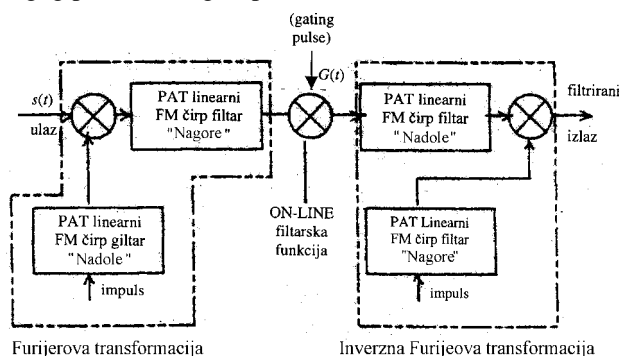
Upotreba logaritamskog pojačavanja omoguivava razdvajanje proizvoda signala i odjeka koji se kao komponenta pojavljuje u odzivu prvog procesora (npr., $\log(AB) = \log A + \log B$). Izlaz iz drugog stepena je u pseudovremenskom (frekventnom) domenu, sa dimenzijom sekundi. Ova tehnika se može korisno upotrebiti u sonarima za razdvajanje udvojenih reverberacija kao i za razdvajanje višestrukih smetnji kod radara (multipath interference). Sa dva filtera, vremenskog kašnjenja od 2 μ s do 50 μ s i TB proizvoda do TB=10 000, PAT kepstralnim procesorom je moguće meriti vreme trajanja impulsa od 50 ns do 50 μ s. Takođe, ovakvim procesorima je moguće vršiti određivanje

nepoznatog nagiba disperzije radarskog irp signala.

ve im od 70 dB i dinami kim opsegom ve im od 80 dB [7].

Procesor za adaptivno filtriranje u realnom vremenu

Za adaptivno filtriranje signala pogodno je upotrebiti Furijeove procesore vezane kao na šemi na sl.8. Konfiguracija irp filtera u prvom stepenu implementira Furijeovu transformaciju, a ona u drugom stepenu inverznu Furijeovu transformaciju. Za realizaciju on-line funkcije filtriranja, dovode se odgovaraju i impulsi izme u prvog i drugog procesorskog stepena.



Slika 8. PAT adaptivni filter realnog vremena

Primenjena upravlja ka funkcija $G(t)$ je impulsni odziv željene serije filtera nepropusnika opsega prenosne karakteristike $G(\omega)$. Ova tehnika zasnovana na PAT procesorima ima prednost nad CCD tehnologijom za širokopojasnu komunikaciju s propusnim opsegom $B \geq 100$ MHz.

Sposobnost filtriranja ovakvom strukturom PAT procesora realnog vremena u sistemima komunikacije s proširenim spektrom može da se poredi s onom koja se ostvaruje s prijemnicima direktne sekvence (DS) bez filtera za prigušenje. Tako, konvencionalni DS prijemnik zahteva poja nje u opsegu 255-511, za istu verovatno u greške, kao PAT procesor s procesnim poja anjem 31 [7].

PAT procesori u sistemima zaštite od ometanja mogu zahtevati dinami ki opseg od 80 dB za opsluživanje varijacija u nivou ulazne snage. Ova performansa je demonstrirana u PAT spektralnom analizatoru projektovanom za propusni opseg od 30 MHz i rezoluciju bolju od 100 kHz, za ulazni signal centriran na 204 MHz. Ovo daje preciznost od 0.3 dB, sa odnosom signal / šum

Zaključak

Prikazani su procesori za analognu obradu signala zasnovani na upotrebi elemenata s površinskim akusti kim talasima. Izloženi su principi irp transformacije i pokazano da se njenom implementacijom PAT disperzivnim filterima mogu dobiti visokobrzni procesori za obradu signala u realnom vremenu. Analiziran je rad ovih procesora koji je pokazao da se operacija konvolucije može efikasno izvršavati pomo u PAT linearnih FM irp filtera i izveden je izraz za Furijeovu transformaciju signala.

Razmotrene su i mogu nosti primene PAT procesora i ustanovljeno je da oni mogu obavljati vrlo raznovrsne i korisne funkcije u telekomunikacijskim ure ajima i sistemima i u obradi signala. Posebno je zna ajna njihova primena u radarskoj i sonarskoj tehnici kao i u spektralnoj i mrežnoj analizi u realnom vremenu.

Na kraju, objašnjeno je kako se kombinacijom više procesora i primenom dodatnih elektronskih komponenata ili dovo enjem spolja programiranih funkcija mogu realizovati vrlo sofisticirane funkcije obrade signala, kao što su kepstalna analiza i adaptivno filtriranje. Sve ovo ukazuje da bi se sa procesorima s površinskim talasima mogle realizovati i mnoge druge korisne funkcije, što e biti predmet daljih istraživanja.

Literatura

- [1] JACK, M.A., GRANT, P.M., COLLINS, J.H. The Theory, Design, and Applications of Surface Acoustic Wave Fourier-Transform Processors. *Proc. of the IEEE*, April 1980, vol.68, no.4, pp.450-468.
- [2] OLINER, A.A. *Acoustic Surface Waves*. Springer Verlag, Berlin, 1978.
- [3] MATTHEWS, H. *Surface Wave Filters*. John Wiley, New York, 1977.
- [4] HRIBŠEK, M. *Elementi sa površinskim akustičnim talasom u telekomunikacijama*. Telfor 2000., pp.316-320.
- [5] FELDMANN, M., HENAFF, J. *Surface Acoustic Waves for Signal Processing*. Artech House, London, Boston, 1989.
- [6] TSUI, J.B.Y. *Microwave receivers and related components*. Air Force Wright Aeronautical Laboratories, 1983.
- [7] CAMPBELL, C.K. Applications of SAW and SBAW devices. *Proceedings of the IEEE*, October 1989, vol.77, no.10, pp.1462-1472.

Rad primljen: 29.5.2002.god.

Analogous processors with surface acoustic waves

The principles of development and implementation of processors with chirp filters with surface acoustic waves (SAW) are presented. The analysis of their working principles has shown that in specific configurations of these analogous processors, a complex signal processing in a wide frequency range (dozens of MHz) can be performed, which makes them suitable for applying in radars, sonars and communication devices. Further more, the possibility of applying SAW processors as spectral and network analysers has been taken into consideration. Finally, it is presented how some more sophisticated functions of signal processing such as kepstal analysis and adaptive filtering, can be realised through combining a number of processors.

Key words: algorithm of SAW chirp transformation, linear FM chirp filter, RAC filter, SAW processor, spectral analysis, kepstal processor.

Processeurs analogiques aux ondes acoustiques de surface

Les principes du développement et de l'implémentation des processeurs aux chirp filtres et aux ondes acoustiques de surface (OAS) sont présentés. Après l'analyse de leur fonctionnement, on a démontré que le traitement de signal complexe peut être exécuté avec les configurations spécifiques de ces processeurs analogiques dans la bande de fréquence large (dizaines de mégahertz), ce qui les rend appropriés pour l'application chez les radars, sonars et dispo-

sitifs de communication. L'application des processeurs OAS comme analyseurs de spectre et de réseau est également traitée. Finalement, l'article présente la réalisation d'une fonction complexe du traitement de signal comme l'analyse cepstrée et le filtrage adaptatif à l'aide de la combinaison de plusieurs processeurs.

Mots-clés: algorithme de la chirp transformation OAS, chirp filtre linéaire de modulation en fréquence, filtre RAC, processeur OAS, analyse spectrale, processeur cepstré.

