



Crna Gora

Ministarstvo prosvjete i nauke

---

Broj: 06/3-

Podgorica, 20.10.2011. godine.

# IZVJEŠTAJ

O RADU NA PROJEKTU

**Naziv projekta Generalizovane vremensko-frekvencijske distribucije: primjena u multimedijalnim sistemima i hardware-ska realizacija**

**Rukovodilac projekta Prof. dr Srdjan Stanković**  
**Ugovorni rok: 3 godine ( 1.12. 2008. – 30. 11. 2011. )**

**Ustanova – nosilac istraživanja - ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

***M.P. Rukovodilac ustanove - Dekan***  
***Prof. dr. Srdjan Stanković***

---

# ***1. IZVJEŠTAJ O RADU NA PROJEKTU TOKOM TRI ISTRAŽIVAČKE GODINE***

## ***1.1. Detaljan sadržaj istraživanja za cjelokupan period realizacije projekta***

Naučno-istraživačka djelatnost koja je relevantna za ovaj projekat, obuhvata niz podoblasti vezanih za vremensko-frekvencijsku analizu signala i njene mnogobrojne primjene. Naime, istraživanja vršena u periodu realizacije projekta 1.12. 2008. – 30. 11. 2011, kao i postignuti rezultati, mogu se podijeliti na sljedeće cjeline:

- Teorijski doprinosi vremensko-frekvencijskoj analizi signala koji se zasnivaju na uspostavljanju i definisanju novih formi vremensko-frekvencijskih distribucija
- Primjena visoko-koncentrisanih vremensko-frekvencijskih distribucija u analizi jednodimenzionih i dvodimenzionih radarskih signala: primjena u estimaciji parametara kretanja čovjeka i primjena u SAR i ISAR aplikacijama
- Primjena vremensko-frekvencijskih distribucija na zaštitu digitalnih multimedijalnih podataka korišćenjem tehnike digitalnog watermarking-a
- Uvođenje vremensko-frekvencijskih distribucija sa višestrukim prozorima i njihova primjena u analizi radarskih signala
- Definisanje novog algoritma za kompresiju video signala baziranog na Hermitskom projekcionom metodu i vremensko-frekvencijskoj analizi
- Analiza biomedicinskih signala korišćenjem Hermitskog projekcionog metoda u vremensko-frekvencijskom domenu
- Filtriranje signala (audio signala i slike) korišćenjem jednodimenzionih i dvodimenzionih robustnih vremensko-frekvencijskih distribucija

U pogledu doprinosa teorijskim osnovama vremensko-frekvencijskih distribucija, potrebno je istaći istraživačka dostignuća u novim formulacijama i realizacijama vremensko-vremenskih distribucija. Naime, definisana je nova klasa distribucija sa kompleksnim argumentom, koja obuhvata distribucije različitog reda, kao i njihove poboljšane forme tzv. L-forme. Ova klasa distribucija izvedena je na osnovu diskretizacije Cauchy-jeve integralne formule i može da omogući visoki stepen koncentracije trenutne frekvencije za različite signale, bez obzira na stepen varijacija funkcije faze signala. Prilikom realizacije distribucija sa kompleksnim vremenskim argumentom, problem se pojavljuje za slučaj

multikomponentnih signala. S tim u vezi, dodatno su definisane nove forme distribucija sa kompleksnim vremenom u ambiguity domenu, koji obezbjeđuje uklanjanje kros komponenti koje se javljaju prilikom realizacija distribucija za multikomponentne signale. Time je ostvaren dodatni pomak na polju realizacija i primjenljivosti popularnih vremensko-frekvencijskih distribucija u analizi raznorodnih nestacionarnih signala.

Uporedo sa razvojem distribucija sa kompleksnim argumentom, istraživanja su vršena na povećanju koncentracije u vremensko-frekvencijskom domenu korišćenjem višestrukih prozora u definiciji postojećih distribucija. Na taj način predložena je nova forma distribucije pod nazivom multiwindow S-method. Višestruki prozori su dobijeni korišćenjem Hermitskih funkcija koje posjeduju dobre karakteristike u pogledu ortogonalnosti, lokalizacije u vremensko-frekvencijskom domenu i slično. Nova kumulativna distribucija je dobijena sumiranjem distribucija realizovanih korišćenjem Hermitskih funkcija različitog reda. Ujedno se pokazuje da distribucija dobijena paralelnim korišćenjem više prozorskih funkcija ima mnogo bolje osobine u pogledu robustnosti na šum, odnosno zadržava visok stepen preciznosti estimacije trenutne frekvencije čak i u uslovima jakog šuma. Zbog svojih dobrih svojstava i jednostavnosti realizacije, predložena forma multiwindow S-method-a našla je primjenu u analizi radarskih signala, kao jednoj od najaktuelnijih oblasti u obradi signala. Naime, multiwindow S-method je korišćen za karakterizaciju kretanja čovjeka na osnovu informacija dobijenih analizom radarskih signala. Postizanjem visoke koncentracije signala korišćenjem predložene distribucije omogućeno je izdvajanje komponenti signala koje potiču od kretanja različitih djelova tijela (rule, noge i torzo). Za aplikacije sa dvodimenzionim signalima kao što je slika, uvedena je dvodimenziona verzija ove vremensko-frekvencijska distribucija koja je uspješno primijenjena u analizi radarskih slika aviona dobijenih tzv. SAR i ISAR tehnikama.

Posebni teorijski doprinosi ogledaju se u definisanju robustnih formi distribucija sa kompleksnim argumentom vremena. Robustne distribucije sa kompleksnim vremenom definisane su radi obezbjeđivanja efikasnog predstavljanja i analize signala u prisustvu jakih impulsnim šumova, kao i u slučaju kombinovanih impulsnih i Gauss-ovih šumova. Robustna forma distribucije sa kompleksnim argumentom realizovana je i za multikomponentne signale, čime je omogućena analiza širokog spektra signala koji se javljaju u praktičnim aplikacijama.

Istraživanja na polju vremensko-frekvencijskih distribucija doprinijela su razvoju novih definicija za estimaciju drugog izvoda faze signala. U slučaju signala čija se faza izrazito brzo mijenja tokom vremena, ova forma distribucije omogućava značajno poboljšanje estimacije drugog izvoda faze u odnosu na postojeće distribucije u literaturi. Napomenimo da predložena distribucija sadrži nekoliko specijalnih slučajeva, što omogućava njenu efikasnu primjenu u na različite tipove signala u praktičnim aplikacijama.

## *Primjene u multimedijalnim sistemima*

U pogledu doprinosa razvoju praktičnih aplikacija u oblasti obrade signala, treba najprije istaći dostignuća na polju zaštite digitalnih podataka korišćenjem tehnika digitalnog watermarkinga, a uz korišćenje vremensko-frekvencijskog predstavljanja. Predložena je watermarking procedura bazirana na multidimenzionoj vremensko-frekvencijskoj analizi. Ova procedura predstavlja jedan unificirani koncept koji se može primijeniti na različite tipove multimedijalnih podataka: audio signali i signali govora, slika i video, čime je na neki način ostvaren jedan od najvećih zahtjeva u zaštiti podataka. Jednodimenziona vremensko-frekvencijska analiza se koristi za audio signale, prostorno-frekvencijska analiza se koristi za sliku, dok se kombinacije obje analize koristi u analizi trodimenzionih video signala. Posebna pažnja je posvećena primjeni dvodimenzione vremensko-frekvencijske analize na watermarking slike. Predložen je metod za selekciju koeficijenata na osnovu estimacije lokalnog frekvencijskog sadržaja. U cilju obezbjeđivanja neprimjetnosti watermark-a, potrebno ga je modelovati u skladu sa selektovanim koeficijentima slike. Detekcija watermarka je izvršena u prostorno-frekvencijskom domenu.

Drugi vid aplikacija vezanih za multimedijalne sisteme odnosi se na nove algoritme za kompresiju video signala. Vremensko-frekvencijska analiza je upotrijebljena za procjenu stacionarnosti piksela u svakom frejmu tokom određenog vremenskog perioda. Korišćenjem distribucija koje obezbjeđuju visoku rezoluciju omogućeno je razlikovanje stacionarnih i nestacionarnih piksela u video signalu. Ukoliko se utvrdi da je piksel stacionaran, odnosno da se ne mijenja tokom vremena nije ga potrebno prenositi u posmatranom intervalu, čime se ostvaruje značajna ušteda, odnosno kompresija video signala. Da bi se obezbijedio dodatni stepen kompresije, nestacionarni pikseli su kodirani korišćenjem Hermitskog projekcionog metoda. Na ovaj način je ostvarena ušteda od oko 50% u odnosu na slučaj kada se prenose svi pikseli koji se mijenjaju.

## *Analiza biomedinskih signala*

Kombinovanje vremensko-frekvencijske analize i Hermitskog projekcionog metoda primijenjeno je u aplikacijama sa biomedicinskim signalima gutanja, registrovanih senzorom za akcelerometriju gutanja. Adekvatna analiza ovih signala može značajno pomoći pacijentima koji imaju problem disfagije, odnosno otežanog gutanja. U okviru predloženog metoda signali gutanja su najprije predstavljeni sa visokom rezolucijom u vremensko-frekvencijskom domenu, korišćenjem odgovarajuće distribucije, odnosno Hermitskog S-metoda. U cilju razlikovanja djelova signala koji sadrže gutanje i djelova koji sadrže govor, kašalj, mikrofoniju i šumove, primijenjen je Hermitski projekcioni metod. Svaki od pomenutih djelova signala ima specifične karakteristike u vremensko-frekvencijskom domenu. Tako se signali gutanja mogu okarakterisati jednostavnijim strukturama, koje se stoga mogu predstaviti sa malim brojem

Hermitskih funkcija. S druge strane, za predstavljanje ostalih djelova signala potreban je znatno veći broj Hermitskih funkcija. Na osnovu broja upotrijebljenih funkcija izvršena je veoma efikasna klasifikacija pojedinih djelova signala, odnosno uspješno su izdvojeni regioni koji sadrže gutanje.

### *Algoritmi za filtriranje signala*

Oblast primjene robustnih vremensko-frekvencijskih distribucija proširena je definisanjem procedura za filtriranje govornih signala i slike u prisustvu kombinovanog Gauss-ovog i impulsnog šuma. Korišćenjem robustnog spektrograma (jednodimenziona forma za govor i dvodimenziona za sliku) obezbijeđeno je redukovanje šuma u vremensko-frekvencijskom domenu. Na bazi ovih distribucija definisane su odgovarajuće forme vremenski-promjenljivog (za govor) i prostorno-promjenljivog (za sliku) filtra čime je omogućeno efikasno redukovanje šuma, i dobijanje filtriranog signala koji ne sadrži šum. Pokazano je da predložene procedure vremenski-promjenljivog i prostorno-promjenljivog filtriranja obezbjeđuju znatno bolje rezultate u odnosu na postojeće tehnike za filtriranje govornih signala i slike u prisustvu kombinovanog impulsnog i Gauss-ovog šuma

## ***1.2. Rezultati istraživanja nakon tri godine realizacije projekta na osnovu kojih se može vrednovati rad na projektu***

Naučno-istraživački rezultati:

- Definisana je generalizovana forma distribucija sa kompleksnim vremenskim argumentom proizvoljnog reda koja omogućava visok stepen koncentracije brzo promjenljive trenutne frekvencije signala
- Definisana je L forma distribucija sa kompleksnim argumentom
- Definisana je klasa vremensko-frekvencijskih distribucija sa kompleksnim vremenskim argumentom bazirana na ambiguity domenu. Ova klasa uključuje i postojeću klasu kvadratnih vremensko-frekvencijskih distribucija kao specijalan slučaj
- Definisana je nova distribucija – multiwindow S-method, zasnovana na korišćenju više prozora u vidu Hermitskih funkcija. Distribucija obezbjeđuje visoku koncentraciju u jednostavnu realizaciju
- Multiwindow S-method je uspješno primijenjen u analizi radarskih signala

- Definisana je generalizovana watermarking procedura za zaštitu digitalnih podataka bazirana na vremensko-frekvencijskom predstavljanju signala
- Definisana je nova klasa vremensko-frekvencijskih distribucija za procjenu drugog izvoda faze
- Definisana je robustna forma distribucija sa kompleksnim argumentom vremena
- Na bazi hermitskog projekcionog metoda i vremensko-frekvencijskih distribucija predložen je novi algoritam za kompresiju video signala. Kombinacijom ovih metoda vršena je i analiza biomedicinskih signala gutanja.
- Definisane su procedure za filtriranje govornih signala i slike u prisustvu impulsnih šumova
- Predložena je watermarking procedura za zaštitu digitalnih podataka bazirana na vremensko-frekvencijskom predstavljanju signala i dekompoziciji na sopstvene vektore i sopstvene vrijednosti
- Predložena je analogno-digitalna hardverska realizacija robustnih vremensko-frekvencijskih distribucija, i njihova implementaciji na FPGA čipu, koja odgovara potrebama primjene u realnim aplikacijama.
- Razvijen je univerzalni softver za vremensko-frekvencijsku analizu signala koji obuhvata implementaciju velikog broja postojećih vremensko-frekvencijskih distribucija. Softver se može koristiti u edukativne svrhe, kao i u analizi signala dobijenih u realnim aplikacijama.

**- Objavljeno je 18 radova u eminentnim svjetskim časopisima iz oblasti elektrotehnike, kao i 11 radova na međunarodnim konferencijama. Jedan od radova koji je publikovan 2010. godine citiran je već 11 puta.**

**- Na bazi dobijenih rezultata, kandidat Irena Orović, sa Elektrotehničkog fakulteta, odbranila je doktorsku tezu u Februaru 2010. godine, dok je Nikola Žarić, sa Elektrotehničkog fakulteta, odbranio doktorsku tezu u Aprilu 2010. godine.**

**- Kandidat Milica Orlandić, saradnik u nastavi na Elektrtehničkom fakultetu, odbranila je magistarki rad u Septembru 2009.**

**- Organizovan je internacionalni „Workshop on the Time-Frequency Analysis and applications” u Kotoru od 6-10- juna 2011. godine, na kome su učestvovali profesori i saradnici sa 6 međunarodnih univerziteta: Univerzitet Lomonosov Moskva, INPG Grenoble, Univerzitet Sophia Antipolis, Univerzitet Tuluz, Tehnički univerzitet Rijeka, Univerzitet Crne Gore**

**Učesnici na Workshop-u:**

***Lomonosov Moscow State University***

Prof. dr Andrey Krylov  
Dmitry Sorokin  
Elena Pavelyeva  
Prof. dr Maxim Mizotin

***INPG Grenoble, GIPSA lab***

Prof. dr Cornel Ioana  
Prof. dr Gabriel Vasile

***Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore***

Prof. dr Srdjan Stanković  
Doc. dr Irena Orović  
Doc. dr Nikola Žarić  
Anđela Draganić  
Branka Jokanović

***University Sophia Antipolis, Nice***

Prof. dr Cedric Richard

***Tehnički fakultet Rijeka***

Prof. dr Viktor Sučić  
Nicoletta Saulig  
Jonatan Lerga

***University of Toulouse***

Prof dr Marie Chabert

***1.3. Dodatni doprinosi proistekli tokom realizacije projekta***

Tokom rada na projektu uspostavljena je veoma značajna međunarodna saradnja sa nizom međunarodnih naučno-istraživačkih institucija i univerziteta, među kojima su: Lomonosov Univerzitet Moskva, Nacionalni politehnički institut iz Grenobla, Univerzitet Sophia Antipolis, Univezitet Toulouse, Tehnilki fakultet

Rijeka, Villanova Univerzitet (Filadelfija, Pensilvanija). Kao rezultat uspješne saradnje sa ovim institucijama objavljen je značajan broj zajedničkih naučno-istraživačkih radova.

Ono što se očekuje je da će započeta istraživanja sa pomenutim institucijama biti dalje nastavljena proširujući aspekte saradnje.

**Takodje, u cilju daljeg razvoja ideja koje su pokrenute tokom realizacije projekta, planirana je organizacija Workshopa, u prvoj polovini naredne godine, koji ima za cilj da okupi najjemenitnije stručnjake iz oblasti obrade signala i vremensko-frekvencijske analize i primjena, kojima smo se bavili u okviru projekta.**

Planirano je i započeto organizovanje dvojnih doktorskih studija između naučno-istraživačkih grupa koje su učestvovala u realizaciji ovog projekta (grupa sa Elektrotehničkog fakulteta i grupa sa Nacionalnog politehničkog instituta iz Grenobla). Ovaj doktorat je koncipiran na ideji sublimacije i udruživanja rezultata ove dvije istraživačke grupe, kroz dvojno mentorstvo, kao i kroz posjete i boravke na oba univerziteta.

Dalji razvoj i uopštenje vremensko-frekvencijskih algoritama i njihovih hardverskih realizacija biće u predstojećem periodu realizovano kroz dvije magistarske disertacije.



## **2. LITERATURA KORIŠĆENA TOKOM REALIZACIJE PROJEKTA (Radovi 1-47) i SPISAK OBJAVLJENIH NAUČNIH RADOVA KAO REZULTAT PROJEKTA (Radovi 48-79)**

### **REFERENCES**

1. LJ. Stankovic, S. Stankovic, "Wigner distribution of noisy signals", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 41, No.2, Feb.1993., pp.956-960.
2. LJ. Stankovic, S. Stankovic, "On the Wigner distribution of the discrete-time noisy signals with application to the study of quantization effects", IEEE Transactions on Signal Processing, No.7, vol-42, July 1994, pp.1863-1867.
3. LJ. Stankovic, S. Stankovic, "An analysis of instantaneous frequency presentation using time-frequency distributions - Generalized Wigner distribution", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol.43, No.2, Feb.1995, pp.549-552.
4. S. Stankovic, LJ. Stankovic, Z. Uskokovic, "On the local frequency, group shift and cross terms in some multidimensional time-frequency distributions; A method for multidimensional time-frequency analysis", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 43, No.7, July 1995, pp.1719-1725.
5. S. Stankovic, LJ. Stankovic, "Introducing time-frequency distribution with a "complex-time" argument", Electronics Letters, Vol.32, No.14, July 1996, pp.1265-1267.
6. D. Petranovic, S. Stankovic, LJ. Stankovic, "Special purpose hardware for time frequency analysis", Electronics Letters, Vol.33, No.6, Mar.1997, pp.464-466.
7. S. Stankovic, LJ. Stankovic, "An architecture for the realization of a system for time-frequency signal analysis", IEEE Transactions on Circuits and Systems, Part II, No.7, July 1997, pp.600-604.
8. S. Stankovic, LJ. Stankovic, Z. Uskokovic, "Modified Wigner bispectrum and its generalizations", Circuits, Systems and Signal Processing, Vol.16, No.1, Jan.1997, pp.27-40.
9. S. Stankovic, I. Djurovic, V. Vukovic, "System realization for space-frequency image analysis", Electronics Letters, 12.November 1998, Vol.34, No.23, pp.2224-2245.
10. LJ. Stankovic, S. Stankovic, I. Djurovic, "Space/spatial-frequency analysis based filtering", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.48, No.8, Aug.2000, pp.2343-2352
11. S. Stankovic, "About Time-Variant Filtering of Speech Signals with Time-Frequency Distributions for Hands-Free Telephone Systems", Signal Processing, Vol.80, No.9, 2000.
12. S. Stankovic, J. Tilp, "Time-Varying Filtering of Speech Signals Using Linear Prediction", Electronics Letters, Vol.36, No.8, 2000.
13. I. Djurovic, S. Stankovic, I. Pitas, "Digital watermarking in the fractional Fourier domain", Journal of Network and Computer Applications, Academic Press, Vol.24, No.2, Apr.2001, pp.167-173.

14. S. Stankovic, I. Djurovic, I. Pitas, "Watermarking in the space/spatial-frequency domain using two-dimensional Radon Wigner distribution", IEEE Transactions on Image Processing, Vol.10, No.4, Apr.2001, pp.650-658.
15. S. Stankovic, I. Djurovic, "Motion parameter estimation by using time frequency representations", Electronics Letters, Vol.37, No.24, Nov.2001, pp.1446-1448.
16. S. Stankovic, LJ. Stankovic, V. Ivanovic, R. Stojanovic, "An architecture for the VLSI design of systems for time-frequency analysis and time-varying filtering", Annals des Telecommunications, Vol.57, No.9/10, Sept./Oct.2002, pp.974-995.
17. I. Djurovic, S. Stankovic, "Estimation of time-varying velocities of moving objects in video-sequences by using time-frequency representations", IEEE Transactions on Image Processing, Vol.12, No.4, Apr. 2003.
18. S. Stankovic, "Time-Frequency Filtering of Speech Signals in Hands-Free Telephone Systems", in Time-Frequency Signal Analysis and Processing, ed. B. Boashash, Elsevier, 2003, pp.481-486
19. S. Stankovic, I. Djurovic, R. Herpers, LJ. Stankovic, "An approach to the optimal watermark detection", AEUE International Journal of Electronics and Communications, Vol.57, 2003.
20. I Djurovic, S. Stankovic, A. Oshumi, H. Ljima: "Motion parameters estimation by new propagation approach and time-frequency representations", Signal Processing: Image Communication, Vol.19, 2004, pp.755-770.
21. C. Cornu, S. Stankovic, C. Ioana, A. Quinquis, LJ. Stanković, Generalized representation of phase derivatives for regular signals," IEEE Transactions on Signal Processing (ISSN:1053-587X), Vol. 55, Issue 10, Oct. 2007, Page(s) 4831-4838
22. S. Stanković, I. Orović, N. Žarić, Robust speech watermarking in the time-frequency domain," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing (ISSN:1687-6172), Vol. 2008, Issue ID 519206, May 2008, Page(s) 9
23. I. Orović, P. Zogović, Nikola Žarić, Srdjan Stanković, Speech Signals Protection via Logo Watermarking based on the Time-Frequency Analysis," Annals of Telecommunication (ISSN:0003-4347), Vol. 63, Issue 5-6, May 2008, Page(s) 276-284
24. B. Boashash, Time-Frequency Signal Analysis and processing, Elsevier, 2003.
25. T. Thayaparan, "Linear and Quadratic Time-Frequency Representations".
26. L. Cohen: Time-frequency analysis, Prentice-Hall, 1995.
27. P. Flandrin, "Time-Frequency/Time-Scale Analysis," Academic Press, Sept. 29, 1998 – Mathematics.
28. T. A. C. M. Claasen, W. F. G. Mecklenbrauker, "The Wigner distribution – A tool for Time-Frequency Signal Analysis – Part III: Relations with Other Time-Frequency Signal Transformations," edited by Philips J. Res., Vol. 35, No. 6, pp. 372-389, 1980.
29. D. Boutana, B. Barkat, F. Manir, "A Proposed High-Resolution Time-Frequency Distribution for Multicomponent Signal and Speech Signal," International Journal on Signal Processing, Vol. 1, No. 2, pp. 167-170, 2004.
30. F.Cakrak, P.J.Loughlin, "Multiwindow time-varying spectrum with instantaneous bandwidth and frequency constraints", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.49, No.8, Aug.2001, pp.1656-1666.
31. D.L. Jones, T. W. Parks, "A high resolution data-adaptive time-frequency representation," Acoustics, IEEE Transactions on Speech and Signal Processing, Vol.38, No.12, pp.2127,2135, Dec 1990.

32. V. Katkovnik, "Robust M-periodogram," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 46, No. 11, pp. 3104-3109, 1998.
33. D. Kirovski, H. S. Malvar, "Spread-spectrum watermarking of audio signals," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 51, No. 4, pp. 1020-1033, 2003.
34. D. Kirovski, H. S. Malvar, "Spread-Spectrum Watermarking of Audio Signals", *IEEE transactions on signal processing*, Vol. 51, No. 4, April 2003.
35. D. Boutana, B. Barkat, F. Manir, "A Proposed High-Resolution Time-Frequency Distribution for Multicomponent Signal and Speech Signal," *International Journal on Signal Processing*, Vol. 1, No. 2, pp. 167-170, 2004.
36. M. Morelande, B. Senadji, B. Boashash, "Complex-lag polynomial Wigner-Ville distribution," *Proc. of IEEE Speech and Image Technologies for Computing and Telecommunication*, Vol. 1, pp. 43-46, Dec. 1997.
37. K. J. R. Liu, "Novel parallel architecture for Short-time Fourier transform," *IEEE Transaction on Circuits and Systems-II*, Vol. 40, No. 12, pp. 786-789, 1993.
38. P. J. Huber, *Robust statistics*, John Wiley&Sons Inc., 1981.
39. F. Hartung, M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques," *Proceedings of the IEEE – Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information*, Vol. 87, No. 7, pp. 1079-1107, July 1999.
40. C. I. Podilchuk, E. J. Delp, "Digital Watermarking: Algorithms and Applications," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 18, No. 4, pp. 33-46, July 2001.
41. I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, *Digital Watermarking*, Academic Press, 2002.
42. N. Kaewkamnerd, K. R. Rao, "Wavelet Based Image Adaptive Watermarking Scheme," *Electronics Letters*, Vol. 36, pp. 312-313, Feb. 2000.
43. P. Bassia, I. Pitas, A. Nikolaidis, "Robust Audio Watermarking in Time Domain," *IEEE Transactions On Multimedia*, Vol. 3, No. 2, pp. 232-241, 2001.
44. N. Nikolaidis, I. Pitas, "Robust Image Watermarking in the Spatial Domain," *Elsevier Signal Processing, Special Issue on Copyright Protection and Access control*, Vol. 66, No. 3, pp. 385-403, May 1998
45. A. Nikolaidis, I. Pitas, "Asymptotically optimal detection for additive watermarking in the DCT and DWT domains," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 12, No. 5, pp. 563-571, 2003.
46. A. E. Desjardins, B. J. Vakoc, M. J. Suter, Seok-Hyun Yun, G. J. Tearney, B. B. Bouma, "Real-Time FPGA Processing for High-Speed Optical Frequency Domain Imaging," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.28, No.9, pp.1468,1472, Sept. 2009.
47. M. G. Amin, K. D. Feng, "Short time Fourier transform using cascade filter structures," *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II*, Vol. 42, No. 10, pp. 631-641, Oct. 1995
48. S. Stanković, I. Orović, A. Krylov, "The Two-Dimensional Hermite S-method for High Resolution Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging Applications," *IET Signal Processing*, Vol. 4, No. 4, pp: 352-362, Jan. 2010
49. S. Stanković, I. Orović, N. Žarić, "An Application of Multidimensional Time-Frequency Analysis as a base for the Unified Watermarking Approach," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 1, No. 3, pp.736-745, March 2010.
50. I. Orović, S. Stanković, "A Class of Highly Concentrated Time-Frequency Distributions Based on the Ambiguity Domain Representation and Complex-

- LagMoment," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2009, Article ID 935314, 9 pages, 2009.
51. S. Stanković, I. Orović, "Effects of Cauchy Integral Formula Discretization on the Precision of IF Estimation: Unified Approach to Complex-lag Distribution and its L-Form," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 16, No. 4, pp: 307-310, Apr. 2009.
  52. F. Totir, C. Ioana, A. Serbanescu, J. Stopin, A. Lucian, S. Stanković, "Systemic approach explored in the context of passive target tracking," *IET Signal Processing*, Vol. 4, No. 3, pp: 314 - 323, June 2010
  53. S. Stanković, I. Orović, A. Krylov, "Video Frames Reconstruction based on Time-Frequency Analysis and Hermite projection method," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Special Issue on Time-Frequency Analysis and its Application to Multimedia signals*, Vol. 2010, Article ID 970105, 11 pages, 2010.
  54. S. Stanković, I. Orović, "Time-Frequency based Speech Regions Characterization and Eigenvalue Decomposition Applied to Speech Watermarking," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Special Issue on Time-Frequency Analysis and its Application to Multimedia signals*, Vol. 2010, Article ID 572748, 10 pages, Sept. 2010.
  55. S. Stanković, "Time-Frequency Analysis and its Application in Digital Watermarking," *Review paper, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Special Issue on Time-Frequency Analysis and its Application to Multimedia signals*, Vol. 2010, Article ID 579295, 20 pages, 2010
  56. I. Orović, S. Stanković, T. Chau, C. M. Steele, E. Sejdić, "Time-frequency analysis and Hermite projection method applied to swallowing accelerometry signals," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2010, Article ID 323125, 7 pages, 2010.
  57. S. Stanković, I. Orović, "Time-Frequency Rate Distributions with Complex-lag Argument," *Electronics Letters*, Vol. 46, No. 13, pp. 950 - 952, June 2010
  58. N. Žarić, I. Orović, S. Stanković, "Robust Time-Frequency Distributions with Complex-lag Argument," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2010, Article ID 879874, 10 pages, 2010
  59. S. Stanković, I. Orović, N. Žarić, C. Ioana, "Two Dimensional Time-Frequency Analysis based Eigenvalue Decomposition Applied to Image Watermarking," *Multimedia Tools and Applications Journal*, Vol.49, No. 3, pp. 529-543, Sept. 2010.
  60. I. Orović, S. Stanković, T. Thayaparan, LJ. Stanković, "Multiwindow S-method for Instantaneous Frequency Estimation and its Application in Radar Signal Analysis," *IET Signal Processing*, Vol. 4, No. 4, pp: 363-370, Jan. 2010.
  61. S. Stankovic, I. Orovic, N. Zaric, "An Application of Multidimensional Time-Frequency Analysis as a base for the Unified Watermarking Approach," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 1, No. 3, March 2010., pp.736-745
  62. X. Li, G. Bi, S. Stankovic, A. M. Zoubir, "Local polynomial Fourier transform: A review on recent developments and applications," *Signal Processing*, Vol. 91, No. 6, pp. 1370-1393, June, 2011
  63. I. Orovic, S. Stankovic, M. Amin, " A New Approach for Classification of Human Gait Based on Time-Frequency Feature Representations," *Signal Processing*, Vol. 91, No. 6, pp. 1448-1456, June 2011.

64. N. Zaric, N. Lekic, S. Stankovic, "An Implementation of the L-estimate Distributions for Analysis of Signals in Heavy-Tailed Noise," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, accepted for publication
65. I. Orovic, M. Orlandic, S. Stankovic, Z. Uskokovic, "A Virtual Instrument for Time-Frequency Analysis of Signals with Highly Non-Stationary Instantaneous Frequency," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements*, Vol. 60, No. 3, pp. 791 - 803, March 2011.
66. B. Gottin, I. Orović, C. Ioana, S. Stanković, J. Chanussot, "Signal Characterization using Generalized "Time-Phase Derivatives" Representation", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Speech Processing*, Taipei, Taiwan, April 2009, pp: 3001-3004.
67. N. Žarić, I. Orović, M. Zogović, S. Stanković, "FPGA Realization of Time-Frequency Distribution with Complex-lag Argument" *International Conference ETAI 2009*, Ohrid, Macedonia, Oct. 2009.
68. I. Orović, N. Žarić, M. Orlandić, S. Stanković, "A Virtual Instrument for Highly Concentrated Time-Frequency Distributions", *International Conference ETAI 2009*, Ohrid, Macedonia, Oct. 2009.
69. M. Orlandić, I. Orović, S. Stanković, „An image watermarking technique with optimal detection in the Wavelet domain“, *ETAN 2009*, Vrnjačka Banja, Serbia, 2009
70. I. Orović, N. Žarić, S. Stanković, "Robust Space/Spatial-Frequency Based Filtering of Images in the Presence of Heavy Tailed Noise," *20th International Conference on Computer Graphics and Vision GRAPHICON'2010*, Sept. 2010. St. Petersburg, Russia
71. N. Žarić, S. Stanković, I. Orović, "Robust Time-Varying Filtering of Speech Signals Corrupted by Mixed Gaussian and Impulse Noise," *International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition AIPR-10*, pp: 238-242, July 2010. Orlando, Florida
72. I. Orović, S. Stanković, N. Žarić, "Time-Frequency Rate Representation for IF Rate Estimation of Signals with Fast Varying Phase Function," *International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition AIPR-10*, pp: 234-237, July 2010. Orlando, Florida
73. D. A. Kurkin, V.V. Lukin, I. Djurovic, S. Stankovic, "Meridian estimator performance for samples of generalized Gaussian distribution,," in *Proc. of 13th Int. Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory, MMET 2010*, Sept. 2010, Kiyv, Ukraine.
74. I. Orovic, N. Zaric, S. Stankovic, I. Radusinovic, Z. Veljovic, "Analysis of power consumption in OFDM systems," *34th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics MIPRO2011*.
75. I. Orovic, N. Zaric, S. Stankovic, M. Amin, "A multiwindow time-frequency approach based on the concepts of robust estimate theory," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing ICASSP-2011*
76. I. Orović, S. Stanković, B. Mobasseri, M. Chabert, "A Robust Image Watermarking Procedure by using the Hermite Projection Method," *ELMAR 2011, Zadar*.
77. I. Orovic, A. Draganic, S. Stankovic, "S-method based eigenvalue decomposition for analysis of multicomponent communication signals," *TELFOR 2011*, Beograd, 2011.

78. I. Orovic, S. Stankovic, V. Sucic, "An Averaged Time-Frequency Distribution for Noisy Signals Analysis," TELFOR2011, Beograd, 2011.
79. I. Orovic, B. Jokanovic, S. Stankovic, "Hardware realization of the reduced cross-terms distribution," TELFOR 2011, Beograd, 2011.