



UNIVERSITY OF MONTENEGRO



MINISTRY OF SCIENCE

***Napredne Tehnike za Automatizovanu Analizu i Obradu
Nestacionarnih Signala u Savremenim Aplikacijama: Komunikacije,
Radari, Biomedicina i Multimedije***

***Dvogodišnji izvještaj
(2012-2014)***

Rukovodilac:

Prof. dr Srdjan Stanković

Ustanova

Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet

Datum početka projekta:

01.04.2012.

Datum završetka projekta:

31.03.2015.

Vrsta istraživanja (1 - osnovna, 2 – primijenjena, 3 – razvojna)

2

1. Introduction

1.1 Sadržaj istraživanja realizovanih u izvještajnoj godini

U toku prve godine rada na projektu izvedene su i formulisane nove robustne forme distribucija za analizu signala zahvaćenih šumom. Korišćenjem novih formi distribucija, moguće je smanjiti uticaj šuma u slučajevima u kojima dosada korišćene vremensko-frekvencijske distribucije nijesu pružale zadovoljavajuće rezultate, kao i poboljšati vremensko-frekvencijsku koncentraciju posmatranog signala. Predložena je generalna forma distribucija drugog reda sa kompleksnim argumentom vremena koja omogućava estimaciju prvog, drugog i trećeg izvoda faze visoko nestacionarnih signala.

Definisane su i vremensko-frekvencijske distribucije bazirane na kombinaciji i usrednjavanju L-formi spektrograma, za poboljšanje preciznosti procjene trenutne frekvencije signala, pogodne za analizu signala zahvaćenih Gausovim šumom. Distribucije su sa aspekta kompleksnosti realizacije znatno jednostavnije u odnosu na druge distribucije višeg reda koje se koriste u slučajevima nestacionarne trenutne frekvencije.

Proučavan je sadržaj nestacionarnih signala u vremensko-frekvencijskom domenu. Definisan je metod za estimaciju kompleksnosti signala, kao i broja komponenti multikomponentnog signala, baziran na S-metodu i Rényi entropiji.

Dizajniran je hardver za izračunavanje vremensko-frekvencijskih distribucija, koje eliminišu uticaj unakrsnih članova, karakterističnih za Wigner-ovu distribuciju. Predložena implementacija, u poređenju sa današnjim aplikacijama može se svrstati u brze aplikacije. Rješenje je realizovano u FPGA tehnologiji i omogućava analizu signala u realnom vremenu. Takođe, projektovana je hardverska implementacija Cohen-ove klase distribucija u FPGA tehnologiji, koja podrazumijeva uopštenu realizaciju svih funkcija jezgra sinusnog i eksponencijalnog oblika.

U toku projekta rađeno je na materijalu za knjigu Multimedia Signals and Systems, autora Srdjana Stankovića, Irene Orović i Ervina Sejdića. Knjiga je izašla iz štampe 30.09.2012. godine, a izdavač je Springer-Verlag New York, LLC. Knjiga sadrži devet poglavlja. U knjizi su obrađeni standardni djelovi svih multimedijalnih sistema: digitalni audio i video signali i sistemi, smještanje podataka i multimedijalne komunikacije. Poglavlja vezana za matematičke transformacije, kompresivno odabiranje, digitalni watermarking i telemedicinu, sadrže detaljne analize najsavremenijih tehnika koje se tiču multimedijalnih sistema. Na kraju svakog poglavlja nalaze se primjeri. Knjiga, osim jednostavnijih primjera, sadrži i naprednije aplikacije kao dodatak teorijskoj analizi. Knjigu mogu koristiti studenti diplomski i postdiplomskih studija, kao osnovnu literaturu za Multimedijalne sisteme. Međutim, pojedini djelovi knjige sadrže napredne moderne algoritme u multimedijama te mogu poslužiti kao osnova za istraživački rad.

Razvijeni su novi algoritmi za zaštitu digitalnih podataka. Predložen je novi pristup u watermarking-u slike, korišćenjem wavelet-a i koncepta JPEG2000 kvantizacije. Predložena je i procedura digitalnog watermarking-a u prostorno-frekvencijskom domenu, bazirana na singular value dekompoziciji.

Poseban dio istraživanja tokom prve godine rada na projektu posvećen je rekonstrukciji audio signala metodom kompresivnog odabiranja/očitavanja. Metod kompresivnog odabiranja omogućava rekonstrukciju kompletnih podataka i signala na osnovu malog broja dostupnih djelova signala ili informacija o signalu.

Istraživanje iz oblasti multimedijalnih audio signala rezultiralo je i razvojem algoritama kojima smo u mogućnosti da razdvojimo svaku pojedinačnu komponentu ovih signala koristeći posebno dizajniranu tehniku pod nazivom singular-value dekompozicija, kombinovanom sa vremensko-frekvencijskom analizom.

Odrađeno je odvajanje komponenti multikomponentnih signala koji se koriste u bežičnim komunikacijama (Bluetooth i IEEE 802.11b standard), bazirano na S-metodu i

dekompoziciji na sopstvene vrijednosti. Takođe, odrađena je rekonstrukcija FHSS signala, koji se koriste u Bluetooth komunikacijama, bazirana na metodu kompresivnog odabiranja.

Radilo se na analizi šuma u estimaciji trenutne frekvencije, baziranoj na unakrsnoj Wigner-Ville-ovoj distribuciji. Takođe, izvršena je modifikacija ICI pravila (presjek intervala od povjerenja), za rašumljavanje signala.

U dijelu istraživanja vezanom za radarske sisteme odrađeno je sljedeće: Od posebnog značaja je analiza visine sniježnog pokrivača korišćenjem radarskih sistema. Analiziran je uticaj gustine snijega na backscattering koeficijent suvog sniježnog pokrivača, za različite parametre SAR senzora (radarski senzori) i odabrane parametre sniježnog pokrivača, karakteristicne za region francuskih Alpa. Takođe, u ovom dijelu, predložen je novi metod za mapiranje mokrog snijega koristeći SAR podatke.

Tokom druge godine realizacije projekta nastavljeno je istraživanje u oblasti vremensko-frekvencijske analize signala, kao u teorijskom smislu tako i u pogledu novih primjena u različitim aplikacijama. U skladu sa trenutnim svjetskim naučnim nastojanjima, značajan dio istraživanja je fokusiran ka razvoju i primjeni novih tehnika kompresivnog odabiranja/očitavanja signala (poznatije kao Compressive Sensing). Kompresivno očitavanje podataka i njihova kompletna rekonstrukcija na osnovu malog broja očitanih vrijednosti, je inovacija koju godinama naučnici teže da postignu i primijene za akviziciju digitalnih slika, radarskim signalima, telekomunikacionim signalima, biomedicinskih signala i slično. Stoga je istraživačka grupa angažovana na ovom projektu posebno radila na razvoju i implementaciji algoritama za Compressive sensing i rekonstrukciju signala na osnovu malog broja dostupnih odbiraka, primjeni kompresivnog odabiranja u analizi signala. Takođe, rađeno je na povezivanju koncepta Compressive sensing-a i Robustne teorije sa brojnim praktičnim primjenama u aplikacijama za otklanjanje šumova iz realnih signala. Razmatrani su brojni algoritmi za Compressive sensing rekonstrukciju jednodimenzionih i dvodimenzionih signala, kao i njihove performanse u realnim aplikacijama. Posebna pažnja bila je posvećena razvoju multimedijalnih aplikacija zasnovanih na Kompresivnom očitavanju u prvom redu, primjeni kompresivnog odabiranja u digitalnom watermarking-u.

2. Rezultati istraživanja

2.1 Očekivani rezultati:

Razvoj novih algoritama za obradu signala kojima se postiže efikasno odvajanje komponenti multikomponentnih signala u komunikacijama i sistemima sa audio signalima. Analiza radarskih signala korišćenjem naprednih tehnika obrade signala. Zaštita multimedijalnih podataka u savremenim digitalnim sistemima korišćenjem pristupa wavelet transformacije. Objavljivanje naučne monografije.

2.2 Ostvareni rezultati:

Naučno-istraživački rezultati:

- Definisana je robustna forma distribucija za analizu signala zahvaćenih šumom, bazirana na kombinaciji vremensko-frekvencijske analize signala sa algoritmima kompresivnog odabiranja, kojom je moguće smanjiti uticaj šuma u signalima kao i poboljšati vremensko-frekvencijsku koncentraciju posmatranog signala.

- Definisana je generalna forma distribucija drugog reda sa kompleksnim argumentom vremena za estimaciju prvog, drugog i trećeg izvoda faze visoko nestacionarnih signala.
- Definisane su vremensko-frekvencijske distribucije bazirane na usrednjavanju L-formi spektrograma, kojima se poboljšava preciznost procjene trenutne frekvencije signala i olakšava analiza signala u uslovima Gausovog šuma.
- Definisan je metod baziran na S-metodu i Rényi entropiji, za estimaciju kompleksnosti i broja komponenti multikomponentnog signala.
- Realizovana je hardverska implementacija vremensko-frekvencijskih distribucija, zasnovanih na jezgru i funkciji neodređenosti u FPGA tehnologiji.
- Realizovan je hardver za Cohen-ovu klasu distribucija, koji uključuje sva jezgra sinusnog i eksponencijalnog oblika, a realizacija je u FPGA tehnologiji.
- Definisane su nove forme ambiguity funkcija, za analizu signala zahvaćenih mješavinom impulsnog i Gausovog šuma.
- Definisan je novi pristup u watermarking-u slike, korišćenjem wavelet-a i koncepta JPEG2000 kvantizacije.
- Definisana je i realizovana procedura digitalnog watermarking-a u prostorno-frekvencijskom domenu, bazirana na dekompoziciji na sopstvene vrijednosti.
- Realizovana je rekonstrukcija audio signala metodom kompresivnog odabiranja, koje omogućuje rekonstrukciju signala korišćenjem značajno manje informacija nego što dosadašnji metodi za rekonstrukciju signala zahtijevaju.
- Dizajniran je algoritam za odvajanje komponenti multikomponentnih signala, baziran na dekompoziciji na sopstvene vrijednosti u kombinaciji sa vremensko-frekvencijskom analizom (korišćen je S-metod).
- Realizovana je procedura za analizu šuma u estimaciji trenutne frekvencije, baziranoj na unakrsnoj Wigner-Ville-ovoj distribuciji.
- Realizovana je modifikacija tzv. ICI pravila (presjek intervala od povjerenja), za rašumljavanje signala.
- Realizovan je novi metod za mapiranje mokrog snijega, korišćenjem SAR podataka, modifikacijom postojećeg Naglerovog metoda
- Razvijeni su novi algoritmi za rekonstrukciju signala sa što je moguće manjim brojem odbiraka, i što je moguće manje kompleksnih i računskih zahtjevnih tehnika rekonstrukcije.
- Razvijene su Compressive sensing tehnike i njihove primjene u prisustvu različitih tipova šuma koji su sveprisutni u realnim aplikacijama,
- Razvijeni su algoritmi za primjenu Compressiv sensing tehnika u vremensko-frekvencijskoj analizi signala;
- Razvijeni su algoritmi za naprednu analizu radarskih signala, sa ciljem uklanjanja nestacionarnih Micro-Doppler smetnji iz radarskih signala
- Objezbjeđivanje potpune rekonstrukcije korisnih komponenti radarskih signala korišćenjem tehnika kompresivnog odabiranja;
- Definisane su nove metodologije i tehnike za otklanjanje impulsnog šuma, primjenom L-estimacionih formi

- Tokom rada na projektu objavljena je knjiga „Multimedia Signals and Systems“ , autora Srdjana Stankovića, Irene Orović i Ervina Sejdića. Knjiga je izdata je od strane renomiranog svjetskog izdavača Springer-Verlag New York. Izašla je iz štampe 30.09.2012. godine, a dostupna je i u elektronskoj verziji na sajtu izdavača Springer-Verlag.

-Kandidat Spec. Sci Branka Jokanović, sa Elektrotehničkog fakulteta odbranila je magistarski rad, u avgustu 2012. godine.

- Kandidat Spec. Sci. Anđela Draganić odbranila je magistarski rad, u julu 2013. godine.

-Dvadeset jedan rad je prihvaćen za publikovanje u međunarodnim časopisima, a 35 radova je publikovano u zbornicima međunarodnih i nacionalnih konferencija.

- Organizovan je internacionalni „Workshop on the time-frequency analysis and applications“, 28. Maj-01. Jun 2012, Budva, na kome su učestvovali profesori i saradnici sa 5 međunarodnih univerziteta: Ecole Normale Supérieure de Lyon, Tehnički univerzitet Rijeka, INPG Grenoble, Univerzitet Piza, Univerzitet Crne Gore.

U workshop-u je, kao član radnog tima, učestvovao akademik Francuske akademije nauka i umjetnosti Prof. dr Patrick Flandrin (Ecole Normale Supérieure de Lyon). Prof. Flandrin je dobitnik Philip Morris nagrade za matematiku, SPIE "Wavelet Pioneer Award", Michel Monpetit nagrade Francuske akademije nauka i umjetnosti. Fellow je IEEE i EURASIP organizacija. Kroz workshop je ojačana saradnja profesora Flandrina i Time-Frequency Signal Analysis naučno-istraživačke grupe. Emitovane su i dvije emisije u okviru naučno-obrazovnog programa televizije Crne Gore. Emisije su posvećene promociji nauke u Crnoj Gori i workshop-u koji je organizovan u okviru naučno-istraživačkog projekta, finansiranog od strane Ministarstva nauke Crne Gore.

Na workshop-u je učestvovao i dr Marco Martorella, docent na Univerzitetu u Pizi. Profesor Martorella ima 20tak radova u vodećim svjetskim časopisima i oko 40 radova na međunarodnim konferencijama. Oblast istraživanja profesora

Martorella-e su većinom radarske slike. Član je IEEE organizacije (Senior Member). Zahvaljujući učešću na workshop-u, učvršćena je saradnja Elektrotehničkog fakulteta (odnosno Time-Frequency Signal Analysis naučno-istraživačke grupe) sa profesorom Martorella-om i Univerzitetom u Pizi, a takođe na pomolu je i zajednička saradnja u projektu.

3. LITERATURA KORIŠĆENA ZA REALIZACIJU PROJEKTA (Reference 1-58) i SPISAK OBJAVLJENIH RADOVA TOKOM (Reference 59-115)

REFERENCES

1. L. Rudin, S. Osher, E. Fatemi, "Nonlinear total variation based noise removal algorithms", *Physica D*, 60:259-268, 1992.
2. B. Boashash, P. J. O'Shea, "Polynomial Wigner-Ville Distributions and Their Relationship to Time-Varying Higher Order Spectra", *IEEE Transaction on Signal Processing*, 1994, 42, (1), pp. 216-220.
3. L. Cohen, "Time-frequency analysis," Prentice-Hall, 1995.
4. P. Flandrin, "Time-Frequency/Time-Scale Analysis," Academic Press, Sep 29, 1998 – Mathematics.
5. A. Papandreou-Suppappola, "Applications in Time-Frequency Signal Processing" (CRC Press, 2003).
6. S. P. Boyd, L. Vandenberghe, "Convex Optimization" (Cambridge Univ. Press, 2004).
7. A. Chambolle, "Total variation minimization and a class of binary MRF models," *Proceedings of the 5th international conference on Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science Volume 3757*, 2005, pp. 136-152.
8. E. Candès, J. Romberg, T. Tao, "Robust Uncertainty Principles: Exact Signal Reconstruction From Highly Incomplete Frequency Information", *IEEE Transactions on Information Theory*, 2006, 52, (2), 489-509.
9. D. L. Donoho, "Compressed Sensing," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 52, No. 4, April 2006.
10. L. Lee, S. Krishnan, 'Time-frequency signal synthesis and its application in multimedia watermark detection', *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2006, Article ID 86712.
11. J. A. Tropp, A. C. Gilbert, "Signal Recovery From Random Measurements Via Orthogonal Matching Pursuit," *IEEE Transaction on Information Theory*, vol. 53, no.12, 2007.
12. R. Baraniuk, "Compressive Sensing", *IEEE Signal Processing Magazine*, 2007, 24, (4), pp. 118-121
13. M. F. Duarte, M. A. Davenport, D. Takhar, J. N. Laska, T. Sun, K. F. Kelly, R. G. Baraniuk, "Single-Pixel Imaging via Compressive Sampling," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol.25, no.2, pp.83,91, March 2008.
14. E. J. Candès, M. B. Wakin, "An Introduction To Compressive Sampling," *IEEE Signal Processing Magazine*, March 2008.
15. J. Romberg, "Imaging via Compressive Sampling," *IEEE Signal Processing Magazine*, March 2008.
16. T. Thayaparan, "Linear and Quadratic Time-Frequency Representations".
17. 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.
18. 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.

19. P. Zhang, Z. Hu, R. C. Qiu, B. M. Sadler, "A Compressed Sensing Based Ultra- Wideband Communication System," IEEE International Conference on Communications, 14-18 June 2009.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. J. J. Zhang, A. Papandreou-Suppappola, B. Gottin, C. Ioana, "Time-Frequency Characterization and Receiver Waveform Design for Shallow Water Environments", IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57, (8), pp.2973 – 2985.
24. 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.
25. 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.
26. 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
27. 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.
28. J. M. Bioucas-Dias, M. A. T. Figueiredo, "Multiplicative Noise Removal Using Variable Splitting and Constrained Optimization", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 19, no. 7, July 2010, Pages 1720-1730.
29. R. G. Baraniuk, V. Cevher, M. F. Duarte, C. Hegde, "Model-Based Compressive Sensing," IEEE Transactions on Information Theory, vol.56, no.4, pp.1982,2001, April 2010.
30. J. F. Gemmeke, H. Van Hamme, B. Cranen, L. Boves, "Compressive Sensing for Missing Data Imputation in Noise Robust Speech Recognition," IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol.4, no.2.
31. 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.
32. 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.
33. C. R. Berger, Z. Wang; J. Huang, S. Zhou, "Application of compressive sensing to sparse channel estimation," Communications Magazine, IEEE , vol.48, no.11, pp.164,174, November 2010.
34. 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.
35. S. Stanković, I. Orović, "Time-Frequency Rate Distributions with Complex-lag Argument," Electronics Letters, Vol. 46, No. 13, pp. 950 - 952, June 2010.

36. 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.
37. 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.
38. I. Orović, S. Stanković, T. Thayaparan, L.J. 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.
39. 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.
40. 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
41. R. E. Carrillo, K. E. Barner, T. C. Aysal, "Robust sampling and reconstruction methods for sparse signals in the presence of impulsive noise," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 4, no.2, pp. 392–408, 2010.
42. M. Elad, "Sparse and Redudant Representations: From Theory to Applications in Signal and Image Processing", (Springer 2010).
43. P. Flandrin, P. Borgnat, "Time-Frequency Energy Distributions Meet Compressed Sensing", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2010, 58, (6), pp. 2974-2982.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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: Express Briefs*, vol.58, no.7, pp.427,431, July 2011.
50. 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.
51. X. Chen, Z. Yu, S. Hoyos, B. M. Sadler, J. Silva-Martínez "A Sub-Nyquist Rate Sampling Receiver Exploiting Compressive Sensing," , *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol.58, no.3, pp.507,520, March 2011.
52. 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.

53. W. Dai, O. Milenkovic, "Information Theoretical and Algorithmic Approaches to Quantized Compressive Sensing," *IEEE Transactions on Communications*, vol.59, no.7, pp.1857,1866, July 2011.
54. 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*.
55. I. Orović, S. Stanković, B. Mobasseri, M. Chabert, "A Robust Image Watermarking Procedure by using the Hermite Projection Method," *ELMAR 2011, Zadar*.
56. T. Zhang, "Sparse Recovery with Orthogonal Matching Pursuit Under RIP," *IEEE Trans. on Information Theory*, 57(9), 2011, pp. 6215-6221.
57. E. Sejdic, A. Cam, L. F. Chaparro, C. M. Steele, T. Chau, 'Compressive Sampling of Swallowing Accelerometry Signals using Time-Frequency Dictionaries based on Modulated Discrete Prolate Spheroidal Sequences', *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*.
58. X. Li, G. Bi, S. Stankovic, A. M. Zoubir, "Local polynomial Fourier transform: A review on recent developments and applications", *Signal Processing*, 2011, 91, (6), pp. 1370-1393.
59. S. Stankovic, I. Orovic, E. Sejdic, "Multimedia signals and systems," Springer - Verlag, 2012. <http://www.springer.com/computer/book/978-1-4614-4207-3>
60. S. Stankovic, I. Orovic, B.Mobasseri, M.Chabert, "A Robust Procedure for Image Watermarking based on the Hermite Projection Method," *Automatika - Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, Nov. 2012.
61. A. Draganic, I. Orovic, S. Stankovic, M. Amin, "Rekonstrukcija FHSS signala zasnovana na principu kompresivnog odabiranja," *TELFOR 2012, Beograd, Novembar 2012*.
62. B. Jokanovic, I. Orovic, S. Stankovic, M. Amin, "A Robust Form of the Ambiguity function," *TELFOR 2012, Beograd, Novembar 2012*
63. I.Orovic, M. Orlandic, S. Stankovic, "An Image Watermarking Based on the pdf Modeling and Quantization Effects in the Wavelet Domain," *Multimedia Tools and Appliactions*, July 2012, pp. 1-17, doi:10.1007/s11042-012-1182-1.
64. S. Stankovic, I. Orovic, V. Sucic, "Averaged Multiple L-Spectrogram for Analysis of Noisy Nonstationary Signals," *Signal Processing Elsevier*, 92(12): 3068-3074 (2012).
65. D. Korac, N. Saulig, V. Sucic, D. Sersic, S. Stankovic, "Detecting the number of components in a nonstationary signal using the Rényi entropy of its Time-Frequency Distributions," *Engineering Review*, 2012.
66. B. Jokanovic, I. Orovic, S. Stankovic, "Hardware Realizations of of Exponential and Trigonometric Functions in FPGA Technology," *Informacione Tehnologije - IT 2012, Žabljak*, pp. 222-225
67. N. Zaric, I. Orovic, S. Stankovic, "Singular Value Decomposition And Space-Spatial-Frequency Analysis Applied To Digital Watermarking," *Proc. Of the 20th European Signal Processing Conference EUSIPCO-2012, Vol. 2012*, pp.1698-1702.
68. S. Stankovic, I. Orovic, M. Amin, "Compressed Sensing Based Robust Time-Frequency Representation for Signals in Heavy-Tailed Noise," *ISSPA 2012, Canada*.
69. I. Orovic, A. Draganic, S. Stankovic, E. Sejdic, "A Unified Approach for the Estimation of Instantaneous Frequency and Its Derivatives for Non-stationary Signals Analysis," *ISSPA 2012, Canada*.
70. I. Orovic, S. Stankovic, A. Draganic, "Time-frequency based analysis of wireless signals," *Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) 2012, Bar, Montenegro*.
71. D. Malnar, V. Sucic, S. Stankovic, "Noise Analysis of the Cross Wigner-Ville Distribution Based Instantaneous Frequency Estimation Method," *In-Tech 2012, Rijeka, Croatia*.
72. I. Orovic, S. Stankovic, B. Jokanovic, A. Draganic, "On Compressive Sensing in Audio Signals," *ETRAN 2012*.

73. N. Besic, G. Vasile, J. Chanusot, S. Stankovic, J.P. Ovarlez, G. d'Urso, D Boldo, J.P. Dedieu, "Stochastically based wet snow mapping with SAR data," IGARSS 2012
74. N. Besic, G. Vasile, J. Chanusot, S. Stankovic, J.P. Dedieu, G. d'Urso, D Boldo, J.P. Ovarlez, "Dry snow backscattering sensitivity on density change for SWE estimation," IGARSS 2012.
75. N. Saulig, V. Sucic, S. Stankovic, I. Orovic, B. Boashash, "Signal content estimation based on the short-term Renyi entropy of the S-method TFD," IWSSIP 2012.
76. S. Stankovic, I. Orovic, M.Chabert, B.Mobasseri, "Image Watermarking based on the Space/Spatial-Frequency Analysis and Hermite Functions Expansion," Journal of Electronic Imaging, 22(1), Jan-Mar 2013.
77. A. Draganic, I. Orovic, S. Stankovic, "Characterization of the musical signals based on singular value decomposition and time-frequency analysis," Informacione Tehnologije - IT 2013, Žabljak, Feb. 2013.
78. A. Draganic, I. Orovic, S. Stankovic, "Total variation based denoising of wireless signals," Informacione Tehnologije - IT 2013, Žabljak, Feb. 2013.
79. I. Orovic, S. Stankovic, B. Jokanovic, "A Suitable Hardware Realization for the Cohen Class Distributions," IEEE Transactions on Circuits and Systems II, vol. PP, no.99, pp.1-5, Avg, 2013
80. LJ. Stankovic, I. Orovic, S. Stankovic, M. Amin, "Compressive Sensing Based Separation of Non-Stationary and Stationary Signals Overlapping in Time-Frequency," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 61, no. 18, pp. 4562-4572, Sept, 2013
81. N. Zaric, S. Stankovic, Z. Uskokovic, "Hardware realization of the robust time-frequency distributions," Annales des Telecommunications, May 2013
82. S. Stankovic, I. Orovic, M. Amin, "L-statistics based Modification of Reconstruction Algorithms for Compressive Sensing in the Presence of Impulse Noise," Signal Processing, vol.93, no.11, November 2013, pp. 2927-2931 , 2013
83. LJ. Stankovic, S. Stankovic, I. Orovic, M. Amin, "Robust Time-Frequency Analysis based on the L-estimation and Compressive Sensing," IEEE Signal Processing Letters, Vol. 20, No. 5, pp. 499-502, 2013
84. M. Ajab, I.A. Taj, I. Shafi, S. Stankovic, "A New Form of Gabor Wigner Transform by Adaptive Thresholding in Gabor Transform and Wigner distribution and the Power of Signal Synthesis Techniques to Enhance the Strength of GWT," Metrology and Measurement Systems, Vol. XX(2013), No. 1, pp: 99-106, 2013
85. S. Stankovic, I. Orovic, M. Chabert, B. Mobasseri, "Image Watermarking based on the Space/Spatial-Frequency Analysis and Hermite Functions Expansion," Journal of Electronic Imaging, vol. 22, no. 1, 013014, 2013.
86. S. Stankovic, I. Orovic, LJ. Stankovic, "Single-Iteration Algorithm for Compressive Sensing Reconstruction," 21st Telecommunications Forum TELFOR 2013, Novembar, 2013.
87. I. Orovic, A. Draganic, S. Stankovic, "Compressive Sensing as a Watermarking Attack," 21st Telecommunications Forum TELFOR 2013, Novembar, 2013
88. I. Orovic, S. Park, S. Stankovic, "Compressive sensing in Video applications," 21st Telecommunications Forum TELFOR 2013, Novembar, 2013
89. I. Orovic, N. Zaric, S. Stankovic, "An Analysis of Quantization Influence on Optimal Detection of Multiplicative Watermark," 55th International Symposium ELMAR 2013, Zadar, Croatia, Sept. 2013, 2013.
90. I. Orovic, S. Stankovic, "Compressive Sampling and Image Watermarking," 55th International Symposium ELMAR 2013, Zadar, Croatia, Sept. 2013, 2013
91. N. Saulig, Z. Milanovic, I. Orovic, S. Stankovic, V. Sucic, "Entropy Based Extraction and Classification of Frequency Hopping Signals from Their TFDs," 55th International Symposium ELMAR 2013, Zadar, Croatia, Sept. 2013, 2013

92. N. Besic, G. Vasile, J. Chanussot, S. Stankovic, D. Boldo, G. Urso, "Wet Snow Backscattering Sensitivity on Density Change for SWE Estimation," IGARSS 2013, Melbourne, Australia, 2013.
93. N. Besic, G. Vasile, J. Chanussot, S. Stankovic, D. Boldo, G. Urso, "Independent component analysis within polarimetric incoherent target decomposition," IGARSS 2013, Melbourne, Australia, 2013.
94. S. Stankovic, I. Orovic, "Robust Complex-Time Distributions based on Reconstruction Algorithms," 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO - 2013, pp.105-108, June 2013, Budva, Montenegro , 2013.
95. S. Stankovic, I. Orovic, "An Ideal OMP based Complex-Time Distribution," 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO - 2013, pp. 109-112, June 2013, Budva, Montenegro , 2013
96. A. Draganic, I. Orovic, S. Stankovic, "FHSS Signal Characterization Based On The Crossterms Free Time-Frequency Distributions," 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO - 2013, pp. 152-155, June 2013, Budva, Montenegro , 2013.
97. I. Orovic, S. Stankovic, M. Amin, "Compressive Sensing for Sparse Time-Frequency Representation of Nonstationary Signals in the Presence of Impulsive Noise," SPIE Defense, Security and Sensing, Baltimore, Maryland, United States, 2013
98. S. Stankovic, LJ. Stankovic, I. Orovic, "L-statistics combined with compressive sensing," SPIE Defense, Security and Sensing, Baltimore, Maryland, United States, 2013.
99. B. Jokanovic, M. Amin, S. Stankovic, "Instantaneous frequency and time-frequency signature estimation using compressive sensing," SPIE Defense, Security and Sensing, Baltimore, Maryland, United States, 2013.
100. A. Draganic, I. Orovic, S. Stankovic, "Total variation based denoising of wireless signals," Informacione Tehnologije - IT 2013, Zabljak, 2013
101. A. Draganic, I. Orovic, S. Stankovic, "Characterization of the musical signals based on singular value decomposition and time-frequency analysis ," Informacione Tehnologije - IT 2013 , Zabljak, 2013.
102. LJ. Stankovic, S. Stankovic, M. Amin, "Missing Samples Analysis in Signals for Applications to L-estimation and Compressive Sensing," Signal Processing, vol. 94, Jan 2014, pp. 401-408, 2014.
103. S. Stankovic, T. Thayaparan, V. Sucic, "Compressive Sensing and Robust Transforms, Editorial," IET Signal Processing, Special issue on Compressive Sensing and Robust Transforms, May 2014.
104. S. Stankovic, I. Orovic, LJ. Stankovic, "An Automated Signal Reconstruction Method based on Analysis of Compressive Sensed Signals in Noisy Environment," Signal Processing, vol. 104, Nov 2014, pp. 43 - 50, 2014.
105. S. Stankovic, LJ. Stankovic, I. Orovic, "A Relationship between the Robust Statistics Theory and Sparse Compressive Sensed Signals Reconstruction," IET Signal Processing, Special issue on Compressive Sensing and Robust Transforms, May 2014.
106. I. Orovic, S. Stankovic, A. Draganic, "Time-Frequency Analysis and Singular Value Decomposition Applied to the Highly Multicomponent Musical Signals," Acta Acustica united with Acustica , Vol. 100, No 1, pp. 93-101(9), 2014
107. M. Scekcic, R. Mihajlovic, I. Orovic, S. Stankovic, "CS Performance Analysis for the Musical Signals Reconstruction," 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO, 2014.
108. S. Zukovic, M. Medenica, I. Orovic, S. Stankovic, "Synthetic software tool for Compressive Sensing reconstruction," 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing , MECO, 2014.
109. R. Mihajlovic, M. Scekcic, A. Draganic, S. Stankovic, "An Analysis of CS Algorithms Efficiency for Sparse Communication Signals Reconstruction," 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing , MECO, 2014.

110. M. Medenica, S. Zukovic, A. Draganic, I. Orovic, S. Stankovic, "Comparison of the algorithms for CS image reconstruction," *Informacione tehnologije IT 2014*, Zabljak, 2014.
111. N. Besic, G. Vasile, B. Lutovac, S. Stankovic, D. Filipovic, "Performance analysis of the FastICA algorithm applied on a 2D signal," *Informacione tehnologije IT 2014*, Zabljak, 2014.
112. I. Orovic, S. Stankovic, "Improved Higher Order Robust Distributions based on Compressive Sensing Reconstruction," *IET Signal Processing*, May 2014
113. I. Orovic, S. Stankovic, T. Thayaparan, "Time-Frequency Based Instantaneous Frequency Estimation of Sparse Signals from an Incomplete Set of Samples," *IET Signal Processing*, Special issue on Compressive Sensing and Robust Transforms, May 2014.
114. LJ. Stankovic, S. Stankovic, M. Dakovic, "From the STFT to the Wigner distribution," *IEEE Signal Processing Magazine*, May 2014.
115. I. Orovic, S. Stankovic, "L-statistics based Space/Spatial-Frequency Filtering of 2D signals in heavy tailed noise," *Signal Processing*, Volume 96, Part B, March 2014, pp. 190-202, 2014.