

DIREKTNA PRIMENA SLIKE SKALOGRAMA U ODREĐIVANJU MORFOLOŠKI KARAKTERISTIČNIH PCG SEGMENTATA

DIRECT SCALOGRAM IMAGE APPLICATION IN MORPHOLOGICALLY CHARACTERISTIC PCG SEGMENTS DETERMINATION

Ana Gavrovska, *Elektrotehnički fakultet u Beogradu*, Milorad Paskaš, *Inovacioni centar Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu*, Irini Reljin, *Elektrotehnički fakultet u Beogradu*

Sadržaj - Uprkos činjenici da se upotrebom kratkovremenske Furijeove transformacije (STFT) poboljšanjem vremenske rezolucije pogoršava frekvencijska i obrnuto, združeno vremensko-frekvencijska (JTF) informacija prikazana spektrogramom se i dalje koristi u aplikacijama za analizu audio i govornog signala. Talasna transformacija nema taj nedostatak i pomoću skalogramске prezentacije omogućava da se nagle visokofrekventne promene od značaja bolje uoče. Fonokardiogram (PCG), tj. digitalni zapis zvuka kao rezultata kontrakcije srca, je jedan od slučajeva gde je takvo uočavanje potrebno. Iako je STFT spektrogram uobičajen u dijagnostičkoj tehnici fonokardiografije, očekuje se da talasna transformacija, kao jedna od naprednijih linearnih neparametarskih JTF metoda, bude sastavni deo budućih algoritama za PCG analizu. U ovom radu su prikazane neke od mogućnosti direktne primene slike skalograma u određivanju morfološki karakterističnih segmenata 1D signala fonokardiograma

Ključne reči: talasna transformacija, skalogram, STFT, fonokardiogram, morfološko procesiranje.

Abstract - Despite the fact that the use of Short-time Fourier transform (STFT) improves time resolution while frequency resolution worsens and vice versa, joint time-frequency (JTF) information presented by spectrogram is still used in applications for audio and speech signal analysis. Wavelet transform doesn't have this disadvantage and the use of scalogram representations allows better detection of significant sharp high-frequency changes. Phonocardiogram (PCG), i.e., digital sound record as a result of the heart contractions, is one of the cases where such determination is needed. Although the STFT spectrogram is common in diagnostic technique of phonocardiography, it is expected that the wavelet transform, as one of the more advanced, linear, nonparametric JTF methods, be an integral part of future algorithms for the PCG analysis. This paper presents some of the possibilities of direct application of scalogram image in determining morphological characteristic segments of 1D phonocardiogram signals.

1. UVOD

Snimljeni digitalni audio signal srčanih kontrakcija, fonokardiogram (*phonocardiogram* - PCG) [1, 2] predstavlja važno dijagnostičko sredstvo pri analizi srčanih problema. Njegove morfološke karakteristike, od postojanja osnovnih srčanih zvukova (S1, S2, S3, S4), do postojanja srčanih šumova (murmura) i njihovog oblika, kao i postojanja ostalih srčanih događaja, ukazuju na potencijalne kardiovaskularne tegobe. Veoma je bitan raspored, intenzitet i vremenska pozicija srčanih događaja u okviru vremenskih intervala koji su određeni sa S1 i S2 i koji se nazivaju sistola i dijastola.

Vremenskofrekvencijski prikazi, u vidu spektrograma odnosno skalograma, su uobičajeni u analizi nestacionarnih signala [2, 3], za razliku od njihove direktne upotrebe kao slika, odnosno primene osnovnih tehnika digitalne obrade slike na njima, o čemu će biti reči u ovom radu. Vremenskofrekvencijski prikazi omogućavaju vizuelno poboljšanje razlikovanja srčanih događaja. Njihovo razlikovanje nije uvek jednostavno s obzirom na preklapanje njihovih frekvencijskih opsega.

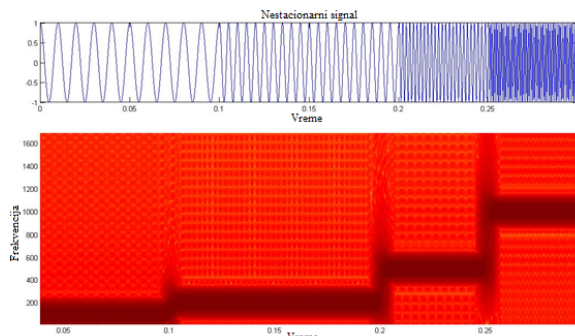
U 2. glavi ukratko je objašnjena STFT transformacija. Dati su neki od primera (3. glava) morfološki karakterističnih segmenata fonokardiograma i odgovarajuće spektrogramске prezentacije. Talasna transformacija prevazilazi osnovne

nedostatke STFT transformacije, što je objašnjeno u 4. glavi. Skalogramski prikazi za karakteristične slučajeve su takodje dati. Problem određivanja srčanih događaja i njihovo razlikovanje upotrebom slika skalograma je razmatrano u petoj glavi. Šesta glava je posvećena rezultatima simulacije, dok se zaključak odnosi na budući rad autora.

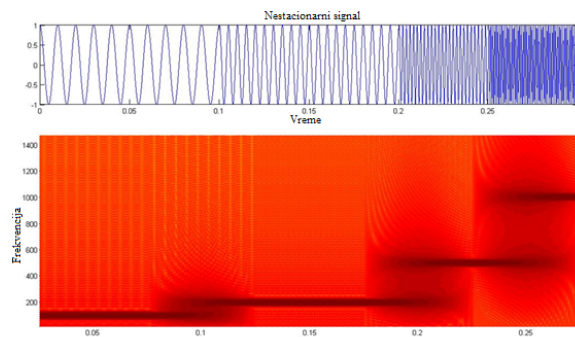
2. UVODNA REČ O PRIKAZU POMOĆU SPEKTROGRAMA

Kratkovremenska (kratkotrajna) Furijeova transformacija (*Short-Time Fourier transformation* - STFT) predstavlja jednu od JTF (*Joint Time-Frequency*) mogućnosti, odnosno mogućnosti istovremene upotrebe vremenskog i frekvencijskog domena [4, 5]. Prednost takvih JTF metoda je više nego očigledna u analizi nestacionarnih signala, kao što su i sami fonokardiogrami. Vremensku preglednost pri harmonijskoj analizi kod STFT-a omogućavaju istovetni vremenskofrekvencijski lokalizacioni prozori u okviru kojih se pretpostavlja stacionarnost signala. Primenom STFT dobija se slika spektralne gustine snage - spektrogram. Takav prikaz je veoma čest u aplikacijama za analizu audio, govornog signala, fonokardiograma i ostalih nestacionarnih signala.

Jedan od osnovnih nedostataka STFT spektrograma je ograničenost u smislu vremenske i frekvencijske rezolucije. Što je interval prozora koji se upotrebljava uži, to je vremenska rezolucija bolja, a frekvencijska lošija i obrnuto. To je demonstrirano na primeru jednog nestacionarnog signala na Sl.1. i S.2.



Sl. 1. Bolja vremenska i lošija frekvencijska rezolucija.

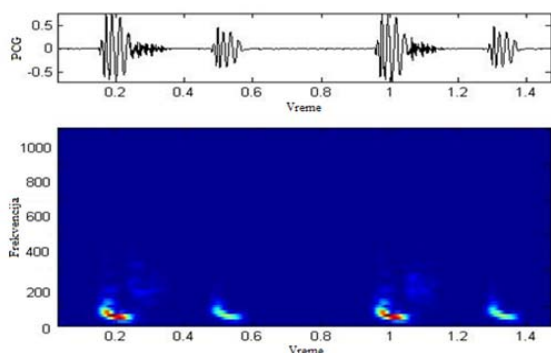


Sl. 2. Bolja frekvencijska i lošija vremenska rezolucija.

3. SPEKTROGRAMSKI PRIKAZ PCG SEGMENTA

STFT se i pored navedenog nedostatka upotrebljava za JTF analizu fonokardiograma [3, 4]. Na Sl.3-Sl.5. prikazani su spektrogrami za neke karakteristične slučajeve u ranom sistoličkom delu. Za test bazu upotrebljeni su signali fonokardiograma iz [6], frekvencije odabiranja 11 025Hz, pri čemu je izvršena decimacija sa faktorom 5. Signali su propušteni kroz Hamming-ov prozor dužine od 128 odbiraka, sa preklapanjem za dva odbirka manje i formirani su prikazi pomoću spektrograma. Nisu uočene znatnije razlike u rezultatima ni za kraće prozore.

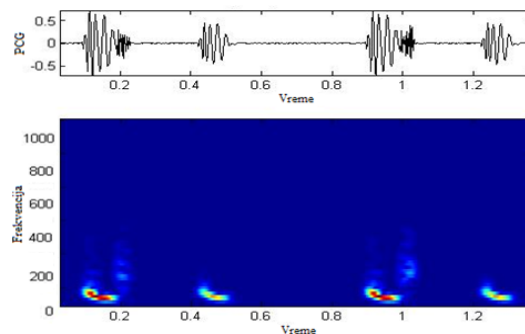
Na Sl.3. prikazan je slučaj ranog sistoličkog murmura.



Sl. 3. Spektrogram u slučaju ranog sistoličkog murmura.

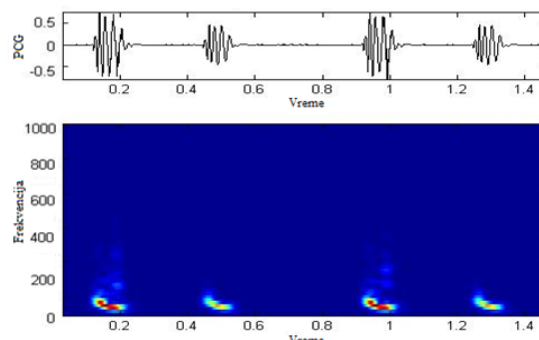
S1 i S2 su dovoljno intenzitetski jaki, kao i sam murmur pa se i on može jasno uočiti na spektrogramu na nešto višim frekvencijama.

Istovremeno odlična vremenska i frekvencijska rezolucija je važna u slučajevima kada imamo vremenski bliske segmente koji predstavljaju različite događaje. Jedan primer je *ejection click* koji se takodje javlja u ranom sistoličkom delu kao jedan srčani događaj (Sl.4.). Sistolički murmuri se često pojavljuju upravo sa klikom.



Sl. 4. Spektrogram u slučaju pojave *ejection click*-a.

Takav klik se može pogrešno protumačiti kao *split* u srčanom zvuku S1. *Split* S1 može biti i sasvim normalna pojava kao u slučaju na Sl.5. i predstavlja uočljivo izdvajanje dve komponente u S1.



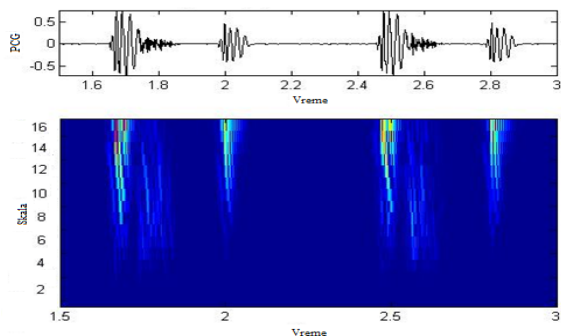
Sl. 5. Spektrogram u slučaju pojave normalnog *split*-a.

4. SKALOGRAMSKI PRIKAZ PCG SEGMENTA

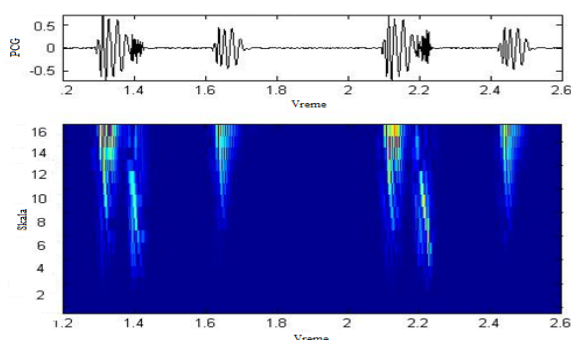
Ipak, očekivano je da talasna (*wavelet*) transformacija - WT, koja omogućava istovremeno poboljšanje i vremenske i frekvencijske rezolucije preuzme ulogu STFT transformacije pri analizi PCG signala. Preciznije, u pitanju je kontinualna WT - CWT [5]. Signal se aproksimira pomoću kratkotrajnih talasića (*wavelets*) karakteristične oscilatornosti. Multirezolucijska analiza pomoću WT upotrebljava uske vremenske prozore na visokim frekvencijama (manjim skalama) i široke na niskim frekvencijama (velikim skalama). Visokofrekventne komponente koje su kratkotrajne se na ovakav način mogu bolje uočiti.

Ovde skalogram predstavlja vizuelnu metodu prikazivanja CWT transformacije. Veći deo sadržaja fonokardiograma je niskofrekventan. Skalogram sa 16 skala pokazao se sasvim dovoljnim za prikaz dvostrukih otkucaja srca, koji su ovde razmatrani. Ne umanjujući opštost, izabran je *db21* iz familije

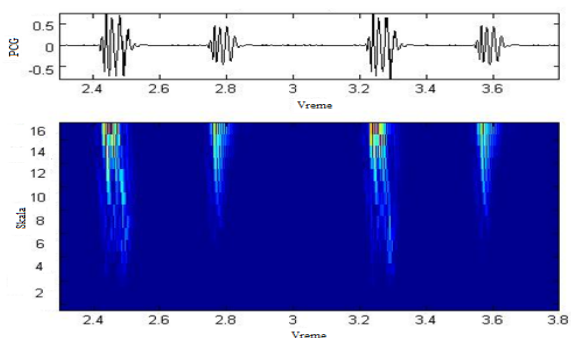
Daubechies wavelet-a za primenu transformacije. Na Sl.6-Sl.8. dati su prikazi pomoću skalograma slučajeva iz glave 3, koji predstavljaju ne tako jednostavan problem razlikovanja srčanih događaja.



Sl. 6. Skalogram u slučaju ranog sistoličkog murmura.



Sl. 7. Skalogram u slučaju *ejection click*-a.



Sl. 8. Skalogram u slučaju normalnog *split*-a S1.

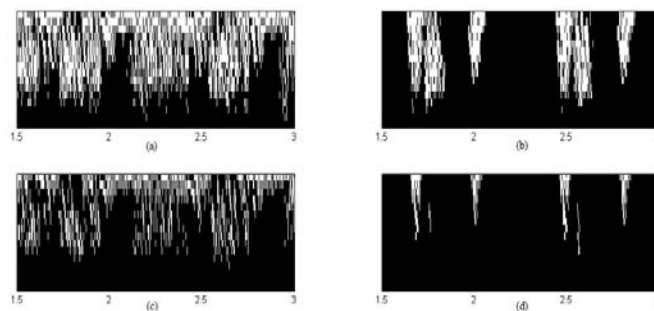
Razlog za upotrebu STFT u aplikacijama za vizuelno pregledanje fonokardiogramskog sadržaja je pre svega naviknutost na takav prikaz. Ipak i za vizuelno pregledanje skalogramski prikaz ne bi trebalo da zaostaje upravo zbog svojih prednosti po pitanju rezolucije. Morfološko procesiranje [7] može se iskoristiti za vizuelno poboljšanje slika skalograma. Nešto slično je uradjeno i upotrebom spektrograma u [8].

5. METODA ANALIZE SKALOGRAMA

Jedne od osnovnih morfoloških operacija, koje se upotrebljavaju za obradu slike su morfološko otvaranje i zatvaranje [7], koje se mogu međusobno višestruko kombinovati, a i same predstavljaju kombinacije morfoloških operacija dilatacije - širenja i erozije - smanjivanja objekta u slici na osnovu nekog strukturnog elementa. Osnovnom

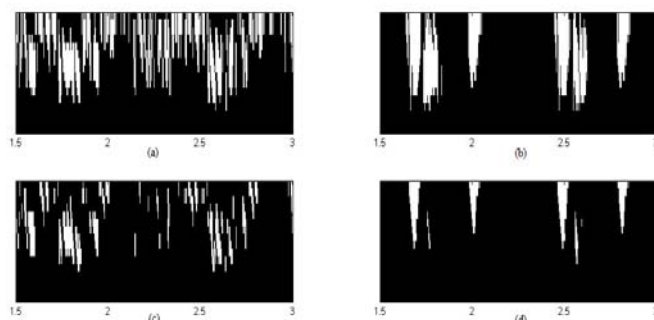
upotrebom morfolškog procesiranja slike moguće je obaviti segmentiranje i razlikovanje morfološki karakterističnih segmenata PCG signala [8].

Ovde se odlučilo da se direktno upotrebi slika skalograma dvostrukih PCG ciklusa za preklapanjem od jednog ciklusa. Originalan skalogram se konvertuje u crno-beli mod na četiri načina. Prvi i drugi prag koji se postavlja se odnose na pojedinačan rad sa kolonama matrice. Tačnije, prvi prag predstavlja minimum svake kolone uvećan za standardnu devijaciju (Sl.9.(a)), dok je drugi prag za svaku kolonu maksimum iste umanjnjen za standardnu devijaciju (Sl.9.(c)). Time se izdvajaju delovi koji mogu biti od značaja, a koji možda neće biti obuhvaćeni postavljanjem odgovarajućeg praga za celokupnu matricu. Treći i četvrti prag koji se postavljaju za celu matricu i koji služe za izdvajanje energetski jakih delova skalograma predstavljaju minimum od svih maksimuma kolona uvećan za deseti deo maksimalne standardne devijacije (Sl.9.(b)) i maksimalna vrednost matrice umanjnjen za 80% svoje vrednosti (Sl.9.(d)). Rezultat postavljanja ta 4 praga na primeru ranog sistoličkog murmura prikazan je na Sl.9.



Sl. 9. (a)-(d) Postavljanje 4 različita praga.

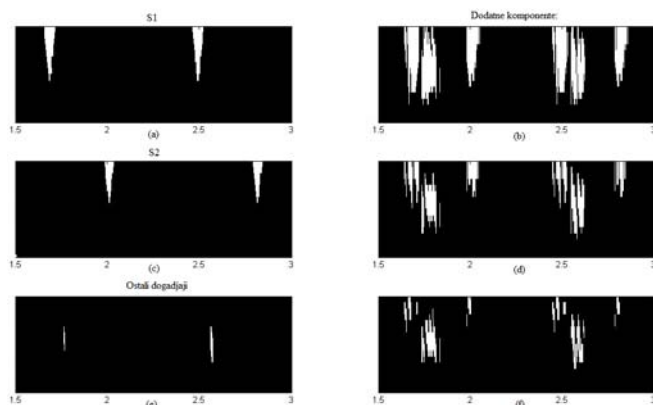
Nakon postavljanja pragova, obavlja se morfološko preprocesiranje na Sl.9.(a)-(d) u cilju dobijanja finijih rezultata. Na Sl.9.(a) primenjeno je morfološko zatvaranje i otvaranje sa pravougaonikom dimenzije 2x2 i 4x10, na Sl.9.(b) sa pravougaonikom dimenzije 2x2 i 4x4 i na Sl.9.(c) sa pravougaonikom dimenzije 2x4 i 2x10 kao strukturnim elementom, respektivno. Sl.9.(d) dobijena je nakon uzastopnog dvostrukog zatvaranja sa pravougaonikom dimenzije 2x1 i 2x10 kao strukturnim elementom, respektivno. Rezultat takvog morfolškog preprocesiranja prikazan je na Sl.10.(a)-(d).



Sl. 10. (a)-(d) Morfološki preprocesirane Sl.9.(a)-(d), respektivno.

Sl.10.(d) je iskorišćena za razdvajanje osnovnih srčanih zvukova od ostalih događaja u PCG signalu. Rezultati se

mogu videti na Sl.11.(a),(c),(e), gde su izdvojeni S1, S2 i ostali događaji, u ovom slučaju murmuri, respektivno. Iskorišćena je činjenica da je diastola duža od sistole, kao i niskofrekventna dominantnost S1 i S2. Obavljeno je i dodatno odbacivanje potencijalnih veoma bliskih nepovezanih komponenta uz detektovane događaje. Učinjen je presek Sl.10.(b), odnosno Sl.11.(b), sa Sl.10.(a) i Sl.10.(c), respektivno. Ti preseki prikazani na Sl.11.(d),(f) žele se iskoristiti kao dodatna provera dešavanja u sistoličkom i diastoličkom delu otkucaja.

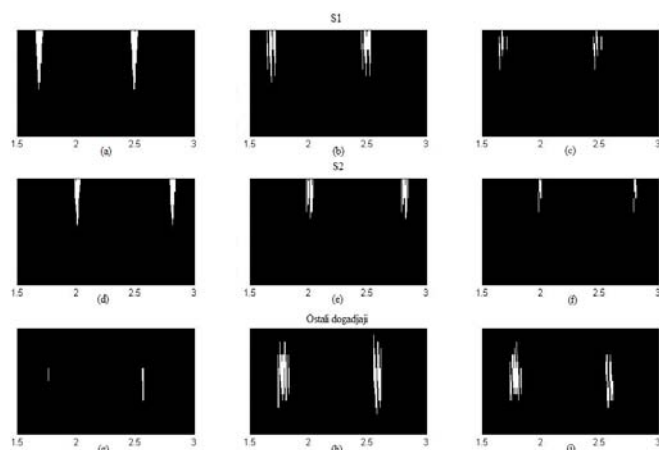


Sl. 11. (a)-(f) Razdvajanje srčanih događaja i potencijalne dodatne komponente.

Cilj simulacije je da se iz Sl.11.(d) i Sl.11.(f) odaberu potencijalne komponente koje mogu biti od značaja za prepoznavanje srčanog događaja sa Sl.11.(a),(c),(e).

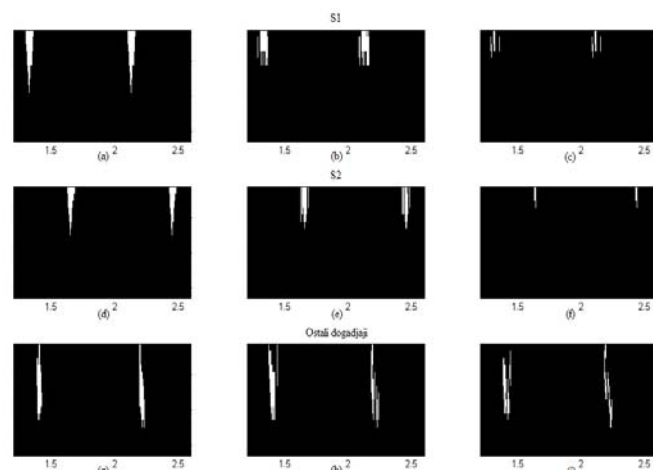
6. REZULATATI SIMULACIJE

Detektovane komponente sa Sl.11.(a),(c),(e), odnosno Sl.12.(a),(d),(g), žele se prikazati na nešto drugačiji način, po svojim dominantnim delovima. One komponente sa Sl.11.(d) koje imaju bar jedan beli piksel zajednički sa Sl.11.(a),(c) ili Sl.11.(e), formiraju Sl.12.(b),(e), odnosno Sl.12.(h), respektivno. Komponente koje su preostale “nedodeljene” se na osnovu euklidskog rastojanja dodeljuju prethodno detektovanim S1, S2, odnosno ostalim događajima. Tako se iz Sl.11.(d) dobijaju Sl.12.(b),(e),(h). Na analogan način se iz Sl.11.(f) dobijaju Sl.12.(c),(f),(i). Ovakav prikaz omogućava bolji uvid i u sam sadržaj detektovanih segmenata.

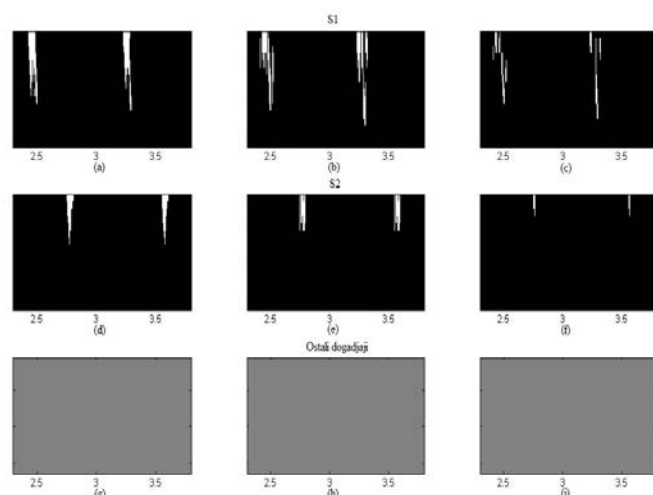


Sl. 12. (a)-(i) Rezultati za slučaj ranog sistoličkog murmura.

Rezultati za slučaj *ejection click*-a i S1 *split*-a prikazani su na Sl.13. i Sl.14, respektivno.



Sl. 13. (a)-(i) Rezultati za slučaj *ejection click*-a.



Sl. 14. (a)-(i) Rezultati za slučaj S1 *split*-a.

7. ZAKLJUČAK

Ovde je opisana samo jedna mogućnost upotrebe morfološkog procesiranja na slikama skalograma. Zahvaljujući multirezoluciji, CWT predstavlja značajno bolji izbor u nekim slučajevima. Inače, potrebno je razmotriti i mogućnost međusobnog kombinovanja CWT i STFT prikaza.

WT, kao i STFT pripada linearnim JTF neparametarskim metodama. Pored njih postoje i kvadratne neparametarske metode, kao i parametarske, koje se mogu iskoristiti za ovakvu primenu. Budući rad će biti usmeren ka ispitivanju različitih analitičkih mogućnosti i njihovoj upotrebi u naprednijim metodama kvantitativne fonokardiografije.

ZAHVALNICA

Prvi autor je stipendista Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj i ovom prilikom se zahvaljuje na pružanju finansijske podrške u istraživačkom radu.

LITERATURA

- [1] A. K. Abbas and R. Bassam, *Phonocardiography Signal Processing*, Synthesis Lectures on Biomedical Engineering #31, Morgan & Claypool, 2009.
- [2] Paul Erne, "Beyond auscultation – acoustic cardiography in the diagnosis and assessment of cardiac disease", Review article, SMW -Swiss Medical Weekly, The European Journal of Medical Sciences, 138(31–32): pp. 439–452, 2008.
- [3] V. A. McKusick, O. N. Massengale, M. Wigod, and G. N. Webb, "Spectral phonocardiographic studies in congenital heart disease", PubMed Central, Jurnal list, British Heart Jurnal, PMCID: PMC479603, 18(3): pp. 403–416, July 1956.
- [4] A. Djebbari and F.B. Reguig, "Short-time Fourier transform analysis of the phonocardiogram signal", The 7th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, Kaslik, Lebanon, pp. 844-847, 2000.
- [5] L. Debnath, *Wavelet Transforms and Time-Frequency Signal Analysis - Applied and Numerical Harmonic Analysis*, Birhhäuser, Boston, 2001.
- [6] Cardiosource, American Colledge of Cardiology. (Available: http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Littmann/stethoscope/education/heart-lung-sounds/)
- [7] R.C.Gonzalez, R.E.Woods and S.L.Eddins, *Digital Image Processing Using MatLab*, Prentice Hall, 2004.
- [8] A. M. Gavrovska, M. P. Paskaš, I. S. Reljin "Određivanje morfološki karakterističnih PCG segmenata iz slike spektrograma", 17. Telekomunikacioni forum TELFOR, pp. 656-659, Srbija, Beograd, novembar 24-26, 2009.