

Predobrada kardiovaskularnih signala: realizacija

Tamara Čeranić, Gorana Mijatović, Tatjana Lončar-Turukalo, Dragana Bajić
Energetika, elektronika i telekomunikacije/komunikaciona tehnologija i obrada signala
Fakultet tehničkih nauka
Novi Sad, Srbija

tamara.ceranic@gmail.com, gorana.mijatovic@yahoo.com, tatjana.turukalo@ktios.net, dragana.bajic@gmail.com

Sadržaj—Osnovna zamisao ovoga rada je da opiše probleme koji se mogu pojaviti kao posledica nepravilne upotreba medicinske opreme, grešaka u prenosu biomedicinskih signala ili pogrešne interpretacije samih signala. Tako izvedeni signali ne predstavljaju realnu sliku stanja organizma i mogu dovesti do pogrešne dijagnostike. Jedan od načina za prevazilaženje ovakvih problema jeste razvoj softvera namenjenog za (pred)obradu biomedicinskih signala. U radu su prikazani rezultati rada softvera za analizu HR signala. Takođe su objašnjena tri načina otklanjanja artefakata, koje podržava ovaj softver.

Ključne riječi— HR (heart rate) signal; artefakti, specijalizovani softver;

I. UVOD

Svakodnevno se vrši uspešan prenos podataka klasičnim komunikacionim sistemima. Kako bi signal na prijemu bio što kvalitetniji, pristupa se različitim obradama signala: filtriranju, i specifičnom odstranjivanju šuma na prijemu i izboru odgovarajuće tehnike prenosa na predaji. Prednost prenosa podataka kao što su govor, slika i video je u tome što korisnik unapred zna šta očekuje na prijemnoj strani, kao i kakav kvalitet signala zadovoljavaju njegova čula.

Prilikom obrade i prenosa biomedicinskih signala ne možemo računati na ove prednosti, jer korisnik ne zna kakav tačno izgled signal treba da ima na prijemnoj strani, postoje brojni uzroci šuma i nisu definisani standardi prenosa ovog tipa signala. Biomedicinski signal vrlo često sadrže artefakte (neželjene informacije koje potiču od drugih izvora) i pre nego što je počeo prenos signala kroz kanal. Signali se prilikom prenosa i dodatna izobličuju. Sve ovo dovodi do toga da signali na korisničkom interfejsu ne predstavljaju u opštem slučaju realnu sliku stanja organizma pacijenata, što bi moglo dovesti do pogrešne dijagnostike.

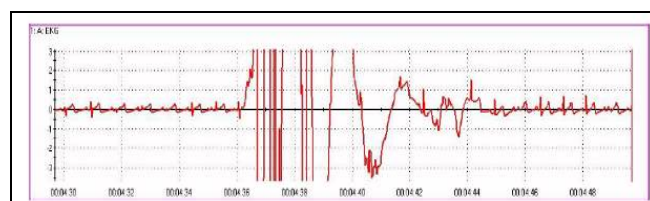
Poznato je da su kardiovaskularna oboljenja vodeći faktor povećanja smrtnosti u Evropi a i šire. Iz tih razloga u radu su objašnjeni uticaji artefakata na kardiovaskularne signale. Za eliminaciju artefakata karakterističnih za ovaj tip signala izrađuju se specijalizovani softveri namenjeni za njihovo otklanjanje. Softveri treba da imaju jednostavan korisnički interfejs kako bi medicinsko osoblje moglo da ga koristi na odgovarajući način. Razvoj ovakvih softvera nije ni malo jednostavan. U radu su prikazani rezultati rada softvera namenjenog za otklanjanje artefakata specijalizovanog za HR signale.

II. UZROCI POJAVE ARTEFAKATA U SIGNALIMA

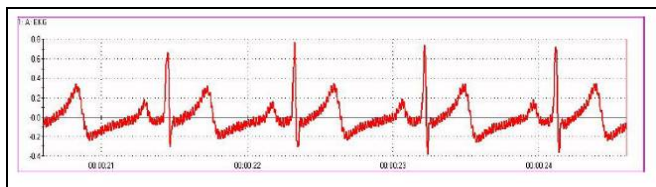
Najčešći uzrok pojave artefakata je nepravilna upotreba medicinske opreme. Kada su u pitanju kardiovaskularni signali, artefakti su najčešće posledica nedovoljno čvrsto postavljene elektrode na telo pacijenta, ili posledica pomeranja pacijenta. To za posledicu ima pojavu trenja koja utiče na izobličenje signala. Koliko je teško prevazići ovaj problem govori i činjenica da se za merenja kardiovaskularnih signala EKG (*Electrocardiogram*) laboratorijskih životinja elektroda zajedno sa predajnom opremom standardno ugrađuje u krvne sudove (aortu) kako bi se izbegla pojava trenja. Naravno, ovu metodu je nemoguće primenjivati kada su u pitanju ljudi [1]. Na Sl. 1 prikazan je izgled EKG signala koji nastaje kada pomeramo elektrode prilikom snimanja. Jasno je da ni jedan algoritam za detekciju R vrhova EKG signala neće moći pravilno sve da ih detektuje.

Jedan od velikih problema koji utiču na izobličenje signala jeste fluktrirajući napon. Posebno su za Balkan karakteristični problemi isporuke naponskog signala čija amplituda vrlo često nije u očekivanim granicama, što izaziva otežan/nepravilan rad medicinske opreme. Uzrok čestih artefakata koji se dešavaju kod EKG signala potiče iz električnog napajanja, povezanog na računar koji je smešten obično blizu akvizicione opreme. Uticaj fluktrirajućeg napona na izgled EKG signala prikazan je Sl. 2. Uočićemo da postoje česte oscilacije na signalu koje ne mogu biti posledice nekog oboljenja.

Jedan od mogućih uzroka dodatnih artefakata je činjenica da električna aktivnost srčanog mišića nije mnogo različita od aktivnosti mišića koji ga okružuju (grudi, ramena) što za posledicu može da ima prikaz većeg broja otkucaja srca od stvarnog. Ovaj problem se može rešiti promenom položaja elektroda, ili se pacijent zamoli da pokuša da opusti mišiće i ostane miran. Prilikom merenja signala BPV (*Blood Volume Pulse*) najčešće artefakte izazivaju pomeranje senzora, što za posledicu ima veliku devijaciju te značajno utiče na nerealno



Slika 1. Uticaj pomeranja elektroda na EKG signal [2]



Slika 2. Uticaj fluktrirajućeg napona na EKG signal [2]

prikaz vrednosti signala.

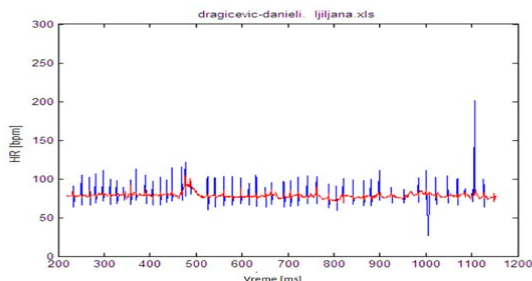
Nakon akvizicije, biomedicinski signal (često prepun artefakata) podleže A/D konverziji, kako bi mogao da se obrađuje na računaru, što dovodi do dodatnih gubitaka informacija. Naime, ne postoji standard koji definiše kolika je frekvencija odabiranja EKG signala. Na primer, jeftiniji EKG uređaji koriste 110 Hz, a neki 1000 Hz, iako postoje radovi koji zahtevaju čak i 3000 Hz. Frekvencija odabiranja koja se koristi za laboratorijske životinje je jednaka frekvencija koje se koristi za ljude, iako je broj otkucaja njihovog srca vrlo često dosta veći od broj otkucaja ljudskog srca [1].

Na Sl. 3 prikazan je plavom bojom snimljen HR signal, dok je crvenom bojom predstavljena stvarna vrednost signala, nakon otklanjanja artefakata. Snimljeni signal predstavlja sumu stvarnog signala i artefakata kojim je signal bio izložen. Jasno je da se ne bi smeo zanemariti uticaj artefakata na signal, zbog značajne izmene vrednosti odabiraka. Signal sa neotklonjenim artefaktima bi mogao navesti lekare na pogrešnu dijagnostiku.

Iz svega gore navedenog možemo zaključiti da postoji velika potreba da se razviju softveri specijalno namenjeni za odstranjivanje upravo artefakata koji su karakteristični za EKG i HR signale, te da se medicinskom osoblju skrene pažnja na nesavršenostima prenosa biomedicinskog signala i značaj korišćenja ovakvih softvera.

III. UTICAJ ARTEFAKATA NA ODREĐIVANJE VREDNOSTI HR SIGNALA

Osnovna namena softvera za analizu HR signala je da prikaže realne vrednosti signala pacijenta i omogući analizu signala u svrhu dijagnostike i prognostike. Otkucaj srca predstavlja prilično komplikovan niz električnih aktivnosti, uključujući polarizaciju i depolarizaciju mišićnih vlakana, pokretanje kontrakcija prvo pretkomora a zatim komora.



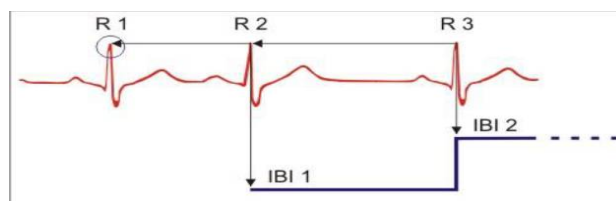
Slika 3. Prikaz HR signala sa/bez artefakata

Svakim otkucajem srčani mišić prosleđuje krv obogaćenu kiseonikom i hranjivim materijama do mišića i drugih organa.

Brzinu rada srca moguće je dobiti na osnovu EKG snimka ili BVP signala. Razvijeni su mnogi specijalizovani algoritmi pomoću kojih je moguće detektovati broj otkucaja srca. Ovi algoritmi vrše detekciju sa određenom preciznošću. Osnovni algoritam koji koriste softveri za detekciju otkucaja srca su zasnovani na ideji da softver pamti kada su se desili otkucaji i koliko je tačno vreme prošlo između dva otkucaja. Ovo vreme se naziva IBI (*interbeat interval*). Ukoliko se računa HR signal na osnovu EKG snimka, softveri detektuju R pikove, a vreme između dva R pika predstavlja IBI interval. Na Sl. 4 prikazan je deo EKG snimka, gde su označeni parametri neophodni za dobijanje vrednosti HR signala.

BVP senzori se stavljaju na prst pacijenta. Emituju ultracrvene zrake i mere količinu krvi koja je reflektovana od površinu kože. Količina reflektovanih zraka varira pri svakom otkucaju srca. Senzor konvertuje reflektovanu svetlost u električni signal, kako bi se signal dalje mogao obrađivati. Potom se koriste algoritmi za detekciju pikovim i računa se IBI interval. Primetićemo da su algoritmi za detekciju u oba slučaja jako slični. Međutim, algoritam koji detektuje broj otkucaja srca na osnovu EKG snimka imaju veću preciznost od algoritama zasnovanih na BVP signalima. Razlog je jednostavan, oblik EKG signala ima jasno vidljive pikove koje algoritmi treba da detektuju. Zatim, merenja dobijena na osnovu BVP senzora sadrže mnogo više artefakata, koji najčešće nastaju pomeranjem senzora. Prednost ovog načina je jednostavnija upotreba [4].

Analiza HR signala je različita od klasične analize signala, jer se on zasniva na podacima izdvojenim iz signala EKG ili BPV. Za analizu HR signala značajni su artefakti koji utiču na vreme između dve otkucaja srca (IBI). Postoje dve posledice koje artefakti mogu izazvati na HR signalu: pojaviće se veći broj otkucaja srca od stvarnog ili će se pojaviti manji broj otkucaja. Manji broj otkucaja srca nastaje kada je signal EKG ili BVP zbog artefakata toliko izmenjen da softver ne može detektovati dva uzastopna pika već traži sledeći pik koji nije uništen zbog artefakata. Posledice ovoga su vrlo često neobično veliki interval između dve otkucaja. Ukoliko je signal pretrpio takva izobličenja, da su vrednosti odabiraka signala često približno jednaki vrednostima pikova, algoritmi za detekciju broja otkucaja srca će detektovati mnogo veći broj otkucaja srca od stvarne vrednosti. Ovaj artefakat možemo uočiti na signalu tako što ćemo primetiti da je vremenski interval između dva otkucaja prekratak. Klasično uklanjanje artefakata i podrazumeva vizualnu detekciju i manuelnu korekciju.



Slika 4. Osnovni princip rada algoritama za detekciju HR signala

Jasno je da se postavlja pitanje zašto se ne napravi softver koji će automatski sam otklanjati artefakte, i omogućiti lekarima da rade na signalima koji predstavljaju stvarnu sliku stanja organizma. Razlog je jednostavan, postoje oboljenja pacijenta koji za posledicu mogu imati mali ili prevelik broj otkucaja srca. Gde je granica između izmenjenog broja otkucaja kao posledice artefakta ili izmenjenog broja otkucaja kao posledica oboljenja mogu proceniti samo stručna lica (lekari, medicinsko osoblje) u zavisnosti od simptoma koje ima pacijent. Neka od oboljenja čiji simptomi su poremećaj broja otkucaja srca su ektopični poremećaj pretkomore ili kontakcije komore, hipotireoza itd.

Postoje razvijeni filtri, koji su specijalizovani za obradu HR signala, međutim i sa njima treba biti obazriv. Da bi se koristili na pravilan način neophodno je definisati kriterijume kao što su koja je maksimalna i minimalna vrednost IBI interval, kolika razlika između susednih IBI intervala je prihvatljiva, na koje vrednosti odbiraka ćemo dozvoliti da filter unosi izmene na signal. Primena ovakvih filtera na neki način pojednostavljuje proces otklanjanja artefakata, ali se nikako ne sme smatrati automatskom obradom, jer zahteva da stručna lica definišu gore navede kriterijume uz rizik da će se izmeniti tačno izmerene vrednosti odbiraka.

IV. REALIZACIJA I REZULTATI RADA SOFTVERA

Uprkos pravilnoj upotrebi opreme, odgovarajućem položaju pacijenta gotovo je nemoguće snimiti signal u kom ne postoje neki od artefakata. Računati statistike koje služe u dijagnostičke svrhe na "neočišćenim" signalima gubi smisao.

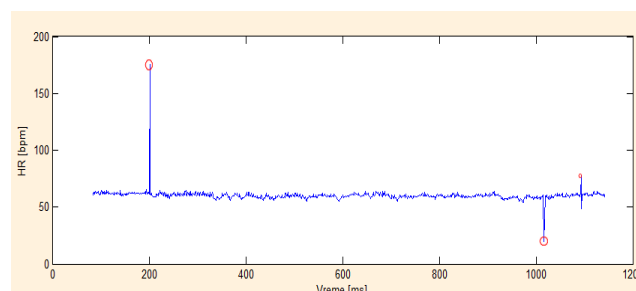
Softver, koji je u procesu razvoja na Fakultetu tehničkih nauka, ima za cilj pre svega da spreči medicinsko osoblje da dobije bilo kakve informacije značajne za dijagnostiku bolesti pre nego što se odstrane artefakti. Softver ima jednostavan korisnički interfejs kako bi korisnici koji nisu iz tehničke struke mogli da se lako snalaze. Korisnici pre svega učitaju vrednost signala koje dobiju iz opreme namenjene za snimanje signala. Obično su vrednosti signala sačuvani u xls, txt ili nekim od formata. Softver je prilagođen formatu koji vraća TaskForce Monitor [5]. Pored učitavanja HR signala, omogućen je prikaz signala sBP (*Systolic Blood Pressures*), dBP (*Diastolic Blood Pressures*) i mBP (*Mean Blood Pressure*). Kriterijum za izbor ovih signala bio je njihov značaja za dijagnostiku oboljenja. Naravno, ukoliko se odstrani atrifekat iz HR signala, automatski softver briše i deo signala sBP, dBP i mBP. Jasno je da nema smisla posmatrati deo signala pritiska ukoliko nemamo informaciju o tom delu srčanog ritma.

Korisnici mogu da koriste tri načina odstranjivanja artefakata. Jedan od načina je označavanje deo po deo signala na koje se sumnja da su upitanju artefakti, i nakon toga odstranjuju se njihove vrednosti. Na vremenskoj osi se nakon odstranjivanja artefakta ne vrši nikakav oblik interpolacije, već se naprosto osa samo skalira. Druga mogućnost je korišćenje filtra, koji ubrzava proces odstranjivanja artefakata, ali za koji se moraju definisati određeni parametri. I treća mogućnost je kombinacija dva gore navedena načina odstranjivanja artefakata.

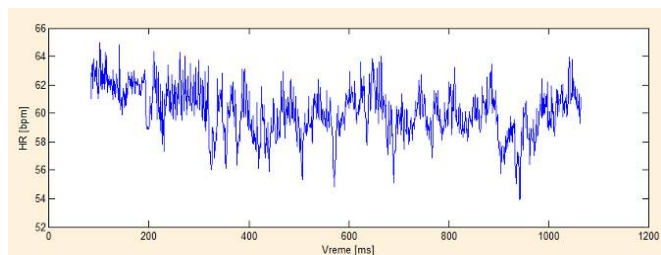
Na Sl. 5 prikazan je HR signal očitao pomoću specijalizovanog softvera. Jasno je da možemo uočiti da je postoje tri vrednosti na koje se odmah može posumnjati da su artefakti. Potencijalni artefakti su označeni crvenim kružnicama.

Očitana vrednosti prve tačke, za koju sumnjamo da je artefakt, je jednaka 175,14 [bpm]. Ukoliko bi proverili susedne vrednosti tačaka uočili bi da se vrednosti odbirka značajno razlikuju, ali da je dužina trajanje IBI interval približno jednaka (ovo možemo zaključiti na osnovu vremenske razlike između susednih odbiraka - ISI). Činjenice da je IBI interval približno jednak, a da se vrednost brzine rada srca razlikuju za više od pola u odnosu na susedne odbirke, i da se ovako nagao skok desio samo jednom u toku snimanja navode nas na jasne sumnje da je u pitanju artefakt. Ukoliko bi na trenutak pomislili da ne otklonimo vrednost ovakvog artefakta, i da računamo neke statistike značajne za dijagnozu, jasno je da ne bi dobili validne vrednosti za dalju analizu. Nakon toga očitamo vrednost druge tačke na čiju tačnost sumnjamo. Dobijena vrednost je jednak 19,837 bpm ona je više od tri puta manja od vrednosti njenih susednih tačaka. Kada smo posmatrali IBI vrednosti odbiraka, na čije tačnosti ne sumnjamo, uočili smo da su približno jednaka 1s (naravno uz sitna odstupanja). Kada smo očitali IBI sporne vrednosti (19,837 bpm) dobili smo da je jednako 3s. Na osnovu ovoga možemo posumnjati da algoritam za detekciju pikova je preskočio susedni pik (verovatno zbog izobličenja signala koje nastaje kao posledica artefakta), što za posledicu ima veliku dužinu RR intervala, pa je jasno zašto je vrednost brzine rada srca jako mala. Treći artefakt, predstavlja dva uzastopna odbirka čija razlika vrednosti je veća u odnosu na ostale vrednosti, što bi delovalo kao da je srce u jednom trenutku radilo ubrzano, a odmah u sledećoj sekundi dobilo naglo usporavanje a nakon toga se ustabilio rad srca. Naravno, ovde se sumnja na grešku prilikom detekcije pikova pri određivanju vrednosti HR signala. Posledica ovoga su verovatno izobličenja, koje je signal pretrpeo.

Jasno da pri proceni artefakata moraju se uzimati u obzir i simptomi pacijenta. Sa obzirom da je signal dovoljno dugo sniman i da su se desila samo tri nagla skoka, pretpostavka da su ipak u pitanju artefakti vrlo verovatno je ispravna. Na Sl. 6 prikazan je izgled HR signala nakon otklonjenih artefakata. Na ovom signal vrše se dalje analize neophodne za dijagnostiku.



Slika 5. Prikaz HR signala (korišćen fajl bajic melanija---amiodaron---ii.xls)

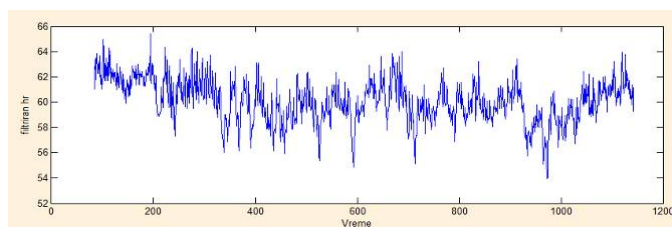


Slika 6. Prikaz HR signala nakon otklanjanja artefakata

Pomenuto je da postoji i mogućnost korišćenja filtra koji je namenjen isključivo za otklanjanje artefakata HR signale. Ovi filtri se smatraju dovoljno dobrim rešenjem, mada ukoliko se ne definišu dovoljno dobar prag kada ćemo dozvoliti da se menjaju vrednosti postoji mogućnost gubljenja značajnih informacija za lečenje. Ukoliko uporedimo vrednost odbiraka dobijenu nakon filtriranja sa stvarnom vrednošću odbirka, i ako je ta razlika manje od predviđene vrednosti praga, vraćamo vrednost odbirka na prethodnu. Na ovaj način možemo sprečiti mogućnost gubitka značajnih informacija nakon filtriranja. Na Sl.7 prikazan je izgled HR signala nakon filtriranja. Ukoliko uporedimo rezultat dobijen ručnim čišćenjem signala i rezultat dobijen filtriranjem signala, videćemo da nisu dobijene baš identične vrednosti, iako odstupanje nije veliko. Ovo je posledica definisanja parametara neophodnih za ispravan rad filtra nad signalima.

Jasno je da softver treba da bude tako osmišljen da spreči fatalne greške koje mogu biti posledica korisnikove nepažnje. Neke od takvih grešaka su mogućnost da korisnik zabunom koristi filtre za otklanjanje artefakata za HR signal da bi odklonio artefakte na nekom drugom signal ili da ne očita odgovarajuće vrednosti signala sa kojim namerava da radi (npr. umesto vrednosti sBP očita vrednost dBP) sve bi ovo moglo dovesti do fatalnih grešaka pri dijagnostici. Kako bi se sprečile ove vrste grešaka jako je dobro da znamo kojim uređajem su snimani signali, i kakav je izgled fajlova iz kojih se učitavaju vrednosti odbiraka. Ukoliko posedujemo ove informacije jednostavno je sprečiti svaku grešku nastalu kao posledica korisnikove nepažnje.

Naravno, možemo doći u situaciju da korisnik odstrani prevelik deo signala, tada dobije upozoravajuću poruku da signal koji ima mali broj odbiraka neće davati dobre statističke podatke. Ovaj problem može se prevazići ponovnim merenjem signala na pacijentu. Na Sl. 8 prikazan je izgled izveštaja signala sa upozoravajućom porukom.



Slika 7. Prikaz HR signala nakon filtriranja

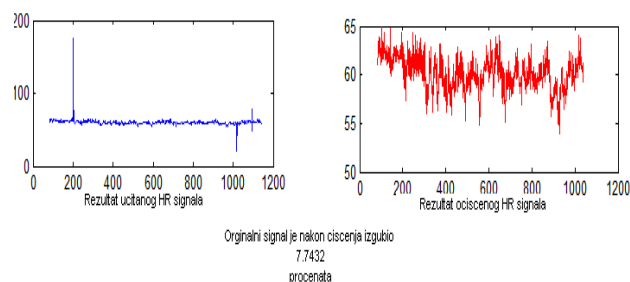
U softveru je implementiran i dodatni alat, koji omogućuje korisnicima da uvećaju delove signala na koje sumnjaju da su izobličeni u toku prenosa, ili da očitaju tačne vrednosti tih odbiraka kako bi bili sigurni da se radi o artefaktima a ne o nekim izobličenjima koje su posledice oboljenja, kao i različiti oblici prikaza signala sve u cilju preciznije analize signala.

V. ZAKLJUČAK

Nesavršenosti medicinske opreme, nedostaci tehnika prenosa signala i softverske greške mogu biti uzrok pogrešne dijagnostike i prognostike. Dodatna otežavajuća okolnost je što korisnici ovih softvera su isključivo lekari ili medicinsko osoblje. Vrlo često niko od njih i ne posumnja na mogućnost neispravnosti snimka rada srca ili statističkih podataka. Kao jedini krajnji korisnici usko specijalizovanih biomedicinskih softvera vrlo je važno da lekari ili medicinsko osoblje imaju razvijenu svest o postojećim nedostacima, kao i potrebi za pravilnom upotrebom softvera.

Rezultati rada softvera, koji su prikazani u četvrtom poglavlju, samo su mali deo mogućnosti koje će specijalizovani softvera za obradu biomedicinskih signala nuditi svojim korisnicima nakon dugogodišnjeg razvoja. Softver je zamišljen kao rezultat rada inženjera, koji se dugo bave biomedicinom, eksperata koji se bave merenjem signala kao i lekara čije sugestije i potrebe će značajno uticati na pravac razvoja.

Rezultati prikazani u ovom radu se isključivo odnose na HR signal. Namera nam je softver razvijati u pravcu obuhvatanja svih kardiovaskularnih signala. Takođe, u daljem razvoju softvera će biti proširenje alata sa kojim korisnik može da manipuliše, kao i razvoj statističkih podataka koji se smatra korisnim pri dijagnostici. Dodatni alati koji bi se implementirali u vezi sa HR signalom su raspodela IBI, frekvencijski spektar, najkraće i najduže vreme između dva otkucaja srca, prosečna dužina trajanja vremena između dva otkucaja. Prvi sledeći korak je zaštita signala od samih korisnika, odnosno sprečavanje korisnika da analiziraju signale sa kojih prethodno nisu uklonjeni artefakti.



Ukoliko je odstranjeno više od 50% signala, signal se neće smatrati dovoljno dobrim za dalju analizu.

Slika 8. Prikaz izveštaja nakon čišćenja signala

ZAHVALNICA

Zahvalni smo prof. dr Nini Japundžić Žigon i prof. dr Branislavu Milovanoviću sa Medicinskog fakulteta u Beogradu na signalima snimljenim na laboratorijskim životinjama, odnosno na kardiovaskularnim pacijentima.

LITERATURA

- [1] D. Bajic, T. Loncar-Turukalo, B. Milovanovic: "Biomedical signals in BANS: pre-channel issues", 17th European Wireless conference 2011, Vienna, Austria, pp 89-93, ISBN 978-3-8007-3343-9, April 27-29, invited paper
- [2] Didier C. Combatalde, "Basic of Heart Rate Variability applied to psychophysiology", February 2010.
- [3] D. Bajić, T. Lončar-Turukalo, "BAN requirements – a questionnaire" COST 2100 TD(10)11097, Aalborg, Denmark, 2-4 June 2010
- [4] A. Haag, S. Goronzy, P. Schaich, J. Williams, "Emotion Recognition Using Bio-Sensors: First Steps Towards an Automatic System", Sony Corporate Laboratorie Europe, Stuttgart, Germany
- [5] J. Fortin, Th. Klinger, Ch. Wagner, H. Sterner, Ch. Madritsch, R. Grullenberger, A. Hacker, W. Habenbacher and F. Skrabal: "The Task

Force Monitor – A Non-invasive Beat-to-beat Monitor for Hemodynamic and Autonomic Function of the Human Body"

ABSTRACT

The main purpose of this paper is to describe the problems that might be a consequence of irregular usage of medical equipment, errors in biomedical data transmission or wrong signal interpretation. Such derived signals do not present a real image of the state of patient and could lead to the incorrect diagnosis. A method to overcome this problem is to develop the software intended for (pre)processing of biomedical signals. The paper presents the software for HR signal analzsis, and three methods for artifacts elimination are presented as well.

CARDIOVASCULAR DATA PREPROCESSING: REALIZATION

Tamara Čeranić, Gorana Mijatović, Tatjana Lončar-Turukalo, Dragana Bajić