

Efikasna Analiza Signala Uz Primene u Mobilnim Aplikacijama

Stevan Jokić, Ivan Jokić, Vlado Delić

Fakultet Tehničkih Nauka

Novi Sad, Srbija

stevan.jokic@gmail.com, ibahjokih@gmail.com,

vdelic@uns.ac.rs

Srđan Krčo

Fakultet Organizacionih Nauka

Beograd, Srbija

srdjan.krco@fon.rs

Sadržaj—U ovom radu predstavljeni su efikasni algoritmi za analizu EKG signala odnosno signala akviziranog senzorima za ubrzanje. Cilj EKG analize je detekcija srčanih aritmija, odnosno ishemičnih sekvenci manifestovanih elevacijom, odnosno depresijom ST segmenta EKG signala. Paralelno uz analizu EKG signala vrši se analiza signala ubrzanja u cilju detekcije fizičke aktivnosti, prevashodno hoda. Algoritmi su zasnovani na analizi oblika u vremenskom domenu. Predstavljeni algoritmi su implementirani u telemedicinskoj mobilnoj aplikaciji koja se izvršava na mobilnim uređajima sa Android operativnim sistemom (OS). Mobilna aplikacija je integrisana u telemedicinski sistem upotrebom postojećih interfejsa.

Ključne reči- EKG; Delineacija; Ubrzanje; ST Analiza; HRV Analiza; Telemedicina; Android

I. UVOD

Razvoj tehnologije mobilnih komunikacionih sistema, uključujući razvoj infrastrukture u vidu uvođenja brzih protokola za prenos podataka, kao i razvoj samih mobilnih uređaja pruža velike mogućnosti za izgradnju Telemedicinskih Sistema (TS) [1] i [2]. TS pruža mogućnost daljinskog nadzora zdravstvenog stanja pacijenta, eliminiše barijeru razdaljine ruralnih naselja. U više radova analizirani su postojeći TS. U [1] dat je pregled preko tri stotine relevantnih radova i izvršeno je vrednovanje TS. Izvedene zajedničke osobine razmatranih sistema su:

- Tehnička efikasnost u daljinskom nadzoru pacijenta
- Jednostavnost za upotrebu, kako za medicinsko osoblje tako i za pacijenta
- Ekonomska isplativost izgranje sistema
- Redukcija broja poseta pacijenata kao i smanjena potreba zadržavanja pacijenta radi bolničkih pregleda i lečenja
- Povećan kvalitet života pacijenta kao i psihološki osećaj sigurnosti

U [2] izvršeno je vrednovanje 66 TS sa stanovišta krajnjih korisnika. Istaknut je veliki broj radova iz oblasti TS koji se bavi tehničkim aspektima razvoja TS kao i razvojem pilot

projekata bez analize dugoročne primene sa stanovišta krajnjih korisnika. Od ukupnog broja ispitanika u radu [2], 56% ističe prednosti upotrebe TS, 36% navodi značajne mane TS, dok 8% daje prednost klasičnom pristupu lečenju u zdravstvu.

Na sajtu iMedicalApp [3] mogu se naći najbolje ocenjene aplikacije za mobilne uređaje uključujući Android telefone. Aplikacije su u najvećoj meri orijentisane medicinskom osoblju pružanjem aktuelnih novosti u medicini odnosno pružanjem enciklopedijskih informacija.

U radu [4] opisana je telemedicinska aplikacija za mobilne uređaje zasnovane na Android OS u klijent-server arhitekturi TS. Klijent-server arhitektura predstavlja najčešći pristup u dizajniranju TS, pri čemu se mobilnoj aplikaciji poverava samo prenos podataka [4] i [6], dok se analiza i pristup podacima implementiraju u serverskoj komponenti sistema. Ovakva arhitektura TS, u najvećoj meri rezultat je skromnih resursa dostupnih u mobilnim uređajima ranijih generacija. Današnji mobilni uređaji zasnovani na Android OS imaju znatno moćnije performanse od mobilnih uređaja prethodnih generacija. Takt procesora telefona zasnovanih na Android OS dostiže 1 GHz uz dostupnu operativnu memoriju oko 500 MB čineći platformu atraktivnom za razvoj računski zahtevnih aplikacija.

U ovom radu opisani su autorovi algoritmi kao i implementacija algoritama u postojeću telemedicinsku aplikaciju za mobilne uređaje sa Android OS, predstavljenu u radu [7]. Aplikacija pruža analizu prikupljenih podataka uz mogućnost njihovog slanja na server, kao i aktivan nadzor u vidu slanja notifikacija *e-mail* porukama u slučaju detekcije patoloških segmenata u EKG signalu. Aplikacija pored EKG signala prikuplja i analizira podatke sa senzora za ubrzanje, pružajući mogućnost praćenja aktivnosti korisnika. Krajnjem korisniku ovakva aplikacija pruža znatno više informacija i sa odgovarajućim hardverom može predstavljati kompletan sistem atraktivan za upotrebu kako u medicinskim ustanovama od strane profesionalnog lekarskog osoblja tako i u kućnim uslovima kao preventivni vid kontrole zdravstvenog stanja, odnosno za daljinski nadzor zdravstvenog stanja već dijagnostikovanih oboljenja. Rana detekcija neregularnosti u radu srca, uz adekvatan tretman bolesti može sprečiti pojavu težih oboljenja.

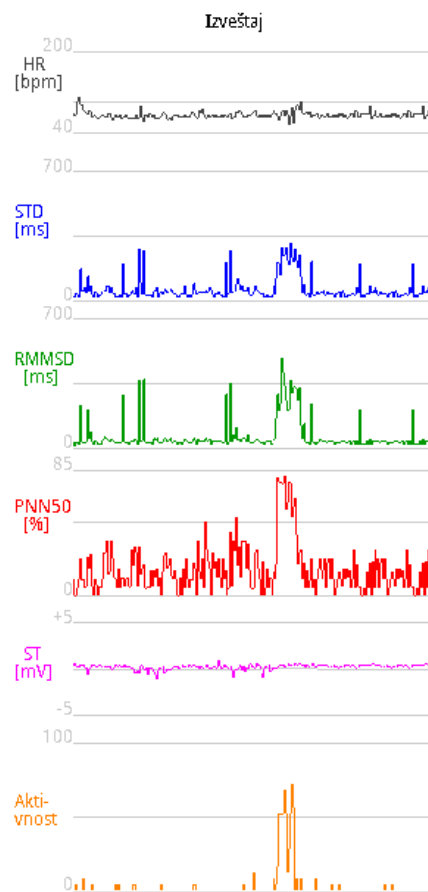
II. PRIKUPLJANJE I ANALIZA EKG SIGNALA

U sistemu se koristi EKG uređaj Nemačkog proizvođača COR Science [8]. Uređaj omogućava prikupljanje 3 odnosno 6 kanala standardnog EKG zapisa (I, II, III i aVR, aVL, aVF). U komunikaciji mobilna aplikacija – EKG uređaj, EKG uređaj je server, a mobilna aplikacija klijent. Mobilna aplikacija inicira uspostavu RFCOMM (*Radio Frequency COMmunication*) konekcije sa uređajem. Ukoliko je RFCOMM veza uspešno otvorena aplikacija počinje konfigurisanje uređaja i pokretanje prikupljanja podataka. Posebne programske niti vrše snimanje, analizu, prikaz i slanje EKG podataka.

U mobilnoj aplikaciji vrši se analiza varijabilnosti srčane frekvencije Heart Rate Variability (HRV) i analiza ST segmenta EKG signala. Analiza HRV može biti važna u predviđanju mortaliteta i selekciji kardioloških bolesnika sa visokim rizikom [14], [19] i [20]. Analiza ST segmenta i detekcija elevacije, odnosno depresije jedan je od najefikasnijih neinvanzivnih postupaka u detekciji ishemije miokarda koja bez adekvatnog lečenja može dovesti do infarkta miokarda. Automatska detekcija aktivnosti pacijenta, tokom analize ST segmenta od velike je koristi lekaru jer se često patološki ST segmenti ne pojavljuju u odmornom stanju, stoga se primenjuje snimanje EKG signala tokom testa opterećenja.

Nakon parsiranja odbiraka EKG signala aplikacija vrši kontinualnu analizu EKG signala. Prvi korak predstavlja detekcija R pika kao najznačajnije tranzicije EKG signala karakterističnog QRS kompleksa. R pik se detektuje implementacijom Pan-Tompkinsovog algoritma adaptiranom za izvršavanje nad računski ograničenim resursima [11] i [12]. HRV analiza vrši se nad sekvencom RR intervala u vremenskom domenu izračunavanjem vrednosti opisanih u radovima [18], [19] i [20]. Izračunavaju se vrednosti standardne devijacije, RMMSD - srednja kvadratna vrednosti razlike susednih RR intervala, pNN50 - procenat susednih RR intervala koji se razlikuje više od 50ms. Izračunate vrednosti mobilna aplikacija može da prikaže grafikom, kao na Sl. 1. Grafik se kao Bitmap slika može poslati mejlom u kome će biti priključena i *eksel* tabela sa izračunatim vrednostima.

U cilju estimacije ST segmenta potrebno je izvršiti delineaciju EKG signala. Osnovni segmenti koje treba izdvojiti su ST segment i vrednost izoelektričnog nivoa. U EKG signalu, smatra se izoelektričnim segment između P talasa i Q pika, označimo ga sa PR. Delineacija EKG signala se vrši nakon detekcije R pikova. Prvi korak u procesu delineacije predstavlja određivanje granice QRS kompleksa. Granice QRS kompleksa, Q i S pikovi određuju se analizom estimiranog nagiba pravih linija estimiranih levo, odnosno desno od R pika. Nagibi pravih linija estimiranih kroz koordinatni početak računaju se prema sledećoj formuli. Pri određivanju S pika računa se nagib nad segmentom od R pika do tačke za koju se proverava da li je lokacija S pika, označen kao kL, odnosno nad odbircima nakon tačke za koju se proverava da li je lokacija S pika, označen kao kD. Tačka se smatra da pripada S piku ukoliko su vrednosti estimiranih nagiba kL i kD suprotnog znaka, odnosno ukoliko se razlikuju za više od 80 %. U cilju smanjenja pogrešne detekcije S pika usled smetnji u signalu dodatno se vrši provera pomenutog uslova nad 10 sukcesivnih odbiraka, pri čemu se lokacijom S pika proglašava tačka u kojoj je promena nagiba



Sl. 1. Prikaz rezultata analize u mobilnoj aplikaciji

najveća. Potpuno analognom procedurom, primenjenom nad segmentom levo od R pika pronalazi se Q pik.

Nakon delineacije QRS kompleksa vrši se lociranje T talasa. Tokom lokacije T talasa pretražuje se najveća oblast EKG signala srčanog otkucaja koja se prostire od S pika tekućeg otkucaja do Q pika narednog otkucaja. Velika raznovrsnost morfologije T talasa otežava definisanje pravila za lociranje T talasa. Lociranje T talasa izvršeno je analizom nagiba pravih linija estimiranih nad odgovarajućim odbircima EKG signala. Kandidat za lokaciju T talasa su tačke u kojima dolazi do promene nagiba. Nagibi su estimirani nad 20 ms EKG signala. Zbog visoke varijabilnosti morfologije T talasa teško je definisati skup pravila za detekciju T talasa. Umesto strogog skupa pravila uvedena je metrika koja se dodeljuje tačkama koji su kandidati za T talas. Uvedeno je više kriterijuma za računanje metrike. Prvo pravilo predstavlja vrednovanje razlike ekstremnih vrednosti estimiranih pravaca u segmentima levo, odnosno desno od tačke koja predstavlja kandidata za T talas. Nad estimiranim pravcima fitovana je polinomska funkcija (PF) trećeg stepena. Treći stepen PF odabran je zbog postojanja analitičkog rešenja za pronalaženje nula prvog izvoda PF. Nule prvog izvoda PF određuju kandidate ekstrema PF. Metrika se dodatno uvećava ukoliko su nule prvog izvoda u opsegu 200 ms. Ukoliko su nule prvog izvoda PF u pomenutom opsegu metrici se dodaje razlika vrednosti PF u tačkama nula prvog izvoda. Metrici se dodaje nagib prave estimirane nad nagibima EKG signala u intervalu

100 ms u okolini tačke koja je kandidat za poziciju T talasa. Ispitivanjem pozicije T talasa nad signalima MIT-BIH QTDB [13] baze formirana je raspodela pojavljivanja T talasa. Ova raspodela je ublažena dodavanjem konstante i decimirana na 20 tačaka. Upravo vrednost raspodela pojavljivanja T talasa predstavlja poslednji sabirak koji učestvuje u formiranju metrike tačke koja je kandidat za poziciju T talasa. Na Sl. 3. prikazan je postupak formiranja metrike pri lociranju T talasa. Ispod EKG signala prikazan je signal formiran estimiranim pravicima kao i fitovana PF prvog odnosno trećeg stepena (u dnu grafika). Lokacijom T talasa proglašava se tačka EKG signala sa najvećom akumuliranom metrikom.



Sl. 3. Delineacija T talasa

U cilju pronalaženja izoelektričnog nivoa EKG signala pretražuje se oblast koja između T talasa prethodnog otkucaja i Q pika tekućeg otkucaja. Uvedeno je više pravila pomoću kojih se računa metrika tačke u kontekstu izoelektričnog nivoa. Prvi sabirak u pomenutoj metrici predstavlja estimirani nagib EKG signala. Potom razlika nagiba estimiranog nad signalom levo, odnosno desno od analizirane tačke. Završni sabirak u postupku formiranja metrike tačke predstavlja kvadrat rastojanja tačke od R pika. Lokacijom izoelektričnog nivoa proglašava se tačka sa najmanjom akumuliranom metrikom. Na Sl. 2. prikazan je deo signala sel15814 iz QTDB uz anotacije iz baze, kao i lokacije Q, S, PR i T dobijene primenom opisanog algoritma za delineaciju EKG signala. Validacija algoritma izvršena je nad anotiranim signalima MIT-BIH QTDB. TABELA I. prikazuje ostvarene rezultate i visoku tačnost opisanog postupka delineacije.

TABELA I. TAČNOST DELINEACIJE

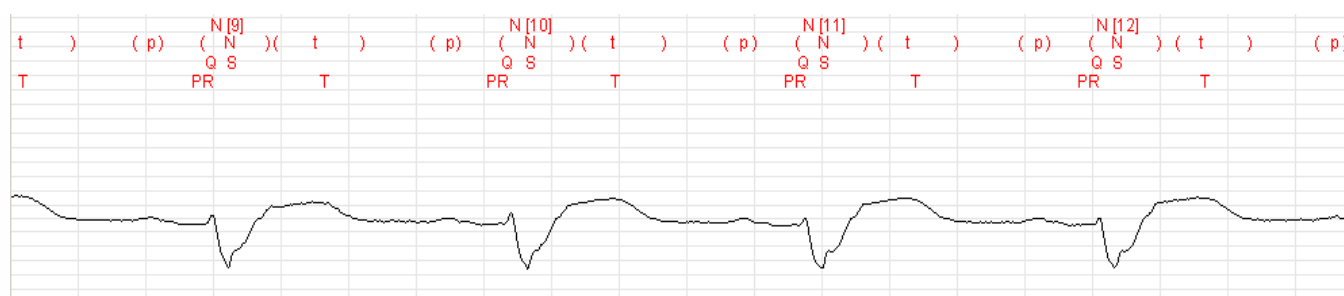
Segment	Ispravno	Pogrešno	Tačnost
T	80645	708	99.12 %
PR	77284	99	99.87 %

III. ANALIZA PODATAKA SENZORA ZA UBRZANJE

Podaci sa senzora za ubrzanje analiziraju se radi detekcije aktivnosti, prevažadno hoda. Posmatranjem većeg broja različitih signala ubrzanja uočava se da je za korak tipično trajanje pika u podacima od 0,2s do 0,6s. Takođe se može uočiti i veliki uticaj pozicije telefona na oblike signala ubrzanja koji se dobijaju sa senzora za ubrzanje. U signalu ubrzanja koraci su najuočljiviji ukoliko se telefon nosi uz gornji deo tela, dok npr. pri nošenju telefona u prednjem džepu pantalona, dobija se signal u kome je značajno uočljiviji korak noge kojoj

je telefon bliže. Cilj detekcije koraka u ovom radu je da bude fleksibilna na poziciju nošenja mobilnog uređaja, kao i da bude relativno niske računске složenosti. Analiza podataka sa senzora za ubrzanje vrši se u vremenskom domenu.

U prvom koraku se računa moduo trodimenzionalnog vektora ubrzanja. Od modula signala oduzima se srednja vrednost u vremenskom intervalu 1s. Ovim se minimizuju komponenta zemljinog ubrzanja u modulu signala ubrzanja. Potom se vrši NF filtriranje dobijenog modula signala ubrzanja. Za tu svrhu, koristi se vrlo efikasan NF filter sa celobrojnim koeficijentima opisan u [20]. Nad filtriranim signalom vrši se detekcija pikova analizom izlaza diferencijatora. Diferencijal se računa nad dva odbirka pre odnosno nakon procesiranog odbirka. Pikovi se detektuju sukcesivnim prolaskom kroz odbirke signala. Prvi korak pri detekciji pikova jeste detekcija promene znaka izvoda signala računatog u odbirku koji prethodi, odnosno sledi trenutno obrađivanom odbirku. U prvom koraku detekcije pikova detektuju se lokalni maksimumi u signalu. Nakon detekcije maksimuma, analognom analizom izvoda signala lociraju se susedni lokalni minimumi signala. Proverava se trajanje pika prema granicama 0,2s do 0,6s. Kako je cilj detekcija hoda korisnika, dodatno se proverava standardna devijacija signala (σ) u okolini pika, u intervalu 1s (na Sl. 4. označena je kao lokalna standardna devijacija). Da bi se detektovani pik smatrao posledicom hoda empirijski je postavljena granična vrednost σ na 20% od amplitude pika. Dodatnom proverom σ odbacuju se izolovani pikovi u signalu ubrzanja. Na Sl. 4. koja predstavlja 10 koraka u jednom smeru, pauzu i potom 10 koraka natrag, prikazani su tipični signali koji se pojavljuju tokom hoda kao i detektovani koraci (kvadratići iznad modula ubrzanja). Uočava se odbacivanje prvog, širokog i usamljenog pika, kao i odbacivanje pikova niske amplitude tokom pauze i okretanja u intervalu između kretanja.



Sl. 2. Delineacija EKG signala: Q, S, PR i T su automatski postavljene primenom autorovog algoritma za delineaciju EKG signala

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljeni su algoritmi za automatsku analizu EKG signala, kao i signala ubrzanja. Opisani algoritmi predstavljaju nadogradnju telemedicinske aplikacije za mobilne uređaje sa Android OS [7]. Opisani autorov algoritam automatske delinacije EKG signala ostvaruje izuzetno visoku tačnost pri čemu ne koriste značajne računске resurse [17]. Uz analizu EKG signala aplikacija prati fizičku aktivnost korisnika analizom podataka senzora za ubrzanje ugrađenog u telefon. Vizuelizacija analize moguća je kontinualnim prikazom EKG signala, odnosno izveštaja kao na Sl. 1.

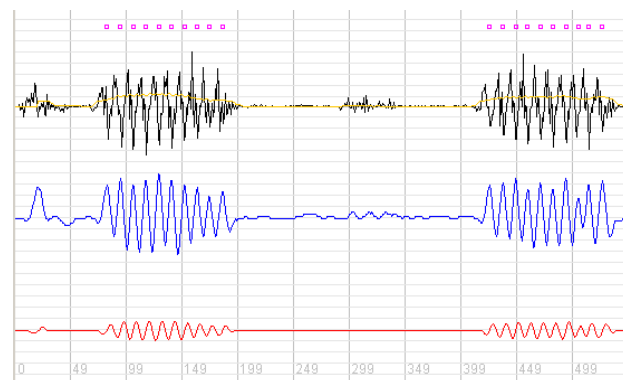
Pravci daljeg istraživanja biće usmereni u razvoju i implementaciji klasifikatora srčanih otkucaja kao i definisanjem pravila pomoću kojih će mobilna aplikacija biti u stanju da pruži intuitivne poruke korisniku vezane za zdravstveno stanje, odnosno sugestije npr. u vidu primerene fizičke aktivnosti, zdravstvenom stanju srca, poseti lekaru i slično.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan kroz projekat "Razvoj dijaloških sistema za srpski i druge južnoslovenske jezike" – TP32035 koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke.

LITERATURA

- [1] Andrés Martínez, Estrella Everss, José Luis Rojo-Álvarez, Domingo Pascual Fígal, Arcadio García-Alberola "A systematic review of the literature on home monitoring for patients with heart failure," J Telemed Telecare Jul 01, 2006; 12: 234-241.
- [2] David Hailey, Risto Roine, Arto Ohinmaa, "Systematic review of evidence for the benefits of telemedicine," J Telemed Telecare Mar 01, 2002; 8: 1-7.
- [3] iMedicalApps, "Mobil medical app review & commentary by medical professionals," <http://www.imedicalapps.com/>.
- [4] H. Silva, A. Lourenço, N. Paz, "Real-Time Biosignal Acquisition and Telemedicine Platform for AAL Based on Android OS," Proc INSTICC International Living Usability Lab Workshop on AAL Latest Solutions, Trends and Applications - AAL, Rome, Italy, January, 2011.
- [5] Kroc, S.; Delic, V., "Personal wireless sensor network for mobile health care monitoring," Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service, 2003. TELSIKS 2003. 6th International Conference on Volume: 2, DOI: 10.1109/TELSKS.2003.1246269 2003. 471 - 474.
- [6] Kroc, S.; Kostic, S.; Sakac, D.; Lukic, Z., "mSens Mobile Health Monitoring System," Computer as a Tool, 2005. EUROCON 2005. The International Conference on Volume: 1, DOI: 10.1109/EUROCON.2005.1629863 2005., p. 80 - 83.
- [7] Stevan Jokić, Maja Pokrić, Srđan Krčo, Vlado Delić, Ivan Jokić. "Aplikacija za praćenje hoda i EKG signala na mobilnim uređajima sa Android OS", TELFOR 2011, Serbia, Belgrade, November 22-24, 2011., p. 687-690.
- [8] COR Science, <http://www.corscience.de/en/medical-engineering/products/ecg.html>
- [9] Yuriko Tsuruoka, Ryosuke Shibasaki, "Walking Analysis using an Acceleration Sensor", Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS Cité Internationale, Lyon, France August 23-26, 2007.
- [10] PROPOSED STANDARD for the Base16, Base32, and Base64 Data Encodings, <http://tools.ietf.org/html/rfc4648>
- [11] P. J. Tompkins, W. J. "A Real-Time QRS Detection Algorithm", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 230-23, 1985.



Sl. 4. Detekcija koraka, gornji signal predstavlja moduo ubrzanja uz lokalnu std.devijaciju, ispod je NF filtriran signal modula ubrzanja i u dnu izvod filtriranog signala.

- [12] Hamilton, P.S. "Open Source ECG Analysis Software Documentation", Computers in Cardiology 2002, IEEE, 101-104 (2002).
- [13] MIT-BIH ECG Database. Online: <http://www.physionet.org/~physiobank/database/mitdb/>.
- [14] American College of Cardiology/American Heart Association Task, "Guidelines for Ambulatory Electrocardiography Part V, Electrocardiography", Journal of the American College of Cardiology Vol. 34, NO. 3, September 1999:912-48.
- [15] Stevan Jokić, Srđan Krčo, Ivan Jokić, Zoran Lukić: "Analiza ST Segmenta EKG Signala Primenom Neuronskih Mreža", DOGS, 16-18. 12.2010. ISBN 978-86-7892-311-1, pp. 128-131.
- [16] Stevan Jokić, Srđan Krčo, Dejan Sakač, Zoran Lukić, Vlado Delić and Tatjana Lončar Turukalo: "An Efficient Approach for Heartbeat Classification", Computing in Cardiology, CinC 2010, S. Irska, Belfast, 26-29. Sept. 2010, ISSN 0276-6574, Computing in Cardiology 2010; 37: 991-994.
- [17] S. Jokić, V. Delic, Z. Peric, S. Krco, D. Sakac. "Efficient ECG Modeling using Polynomial Function" // Electronics and Electrical Engineering, Kaunas: Technologija, 2011. – No. 4(110). – P. 121-124.
- [18] Marek Malik, "Heart Rate Variability, Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use", European Heart Journal (1996) 17, 354-381.
- [19] Asha V. Thalange, Rohini R. Mergu, "HRV Analysis of Arrhythmias Using Linear – Nonlinear Parameters", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 1 – No. 12, 2010.
- [20] Martial M. Massina, Bénédict Derkenne, Götz von Bernuth, "Correlations between Indices of Heart Rate Variability in Healthy Children and Children with Congenital Heart Disease", Cardiology 1999;91:109-113.
- [21] P. A. Lyn. "Online digital filters for biological signals: Some fast design for small computer", Med.Biol.Eng.Comp.vol 15 pp.534-540, 1977.

ABSTRACT

In this paper, we introduce efficient algorithms applied to the ECG and acceleration data analysis. The main goal of the ECG analysis is arrhythmia, ischemic sequences detection. Acceleration data are analyzed simultaneously during ECG processing regarding to the walk activity detection. Algorithms are based on the shape analysis in the time domain. Introduced algorithms are implemented in the telemedical mobile application, designed for mobile devices based on the Android operating system (OS). Mobile application is integrated in the existing telemedicine system using predefined interfaces.

EFFICINET SIGNAL PROCESSING APLIED TO THE MOBILE APPLICATIONS

Stevan Jokić, Ivan Jokić, Vlado Delić, Srđan Krčo