

PROJEKTOVANJE PROTOKOLA ZA KOMUNIKACIJU UREĐAJA ZA FIZIKALNU TERAPIJU

COMMUNICATION PROTOCOL DESIGN FOR PHYSICAL THERAPY DEVICES

Vladimir Simić, Vladimir Ćirić, Teufik Tokić, Ivan Milentijević

Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet

Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

email: {vladimir.simic, vladimir.ciric, teufik.tokic, ivan.milentijevic}@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj – *Cilj ovog rada je projektovanje i implementacija protokola za komunikaciju uređaja za fizikalnu terapiju preko lokalne mreže. Uređaji komuniciraju u sklopu inteligentnog kabineta za fizikalnu medicinu. Protokol će biti baziran na osnovnim konceptima IEEE ISO/IEEE X73-PoC-MDC serije standarda za komunikaciju medicinskih uređaja. Kako bi se implementacija prilagodila korišćenoj platformi, usvojeni koncepti će biti pojednostavljeni. Razvijeni protokol obezbeđuje plug-and-play svojstva uređaja u kabinetu kroz automatsko otkrivanje kontrolne stanice i sinhronizaciju parametara terapija sa kontrolnom stanicom. Implementacija je bazirana na free RTOS-u i PIC 18F mikrokontroleru. Rezultati implementacije pokazuju da protokol može podržati komunikaciju uređaja za fizikalnu terapiju u realnom vremenu.*

Abstract – *The application layer protocol for communication of control station and physical therapy devices, within the frame of intelligent physical therapy cabinet, is developed and described in this paper. The protocol design is led by the concepts of IEEE ISO/IEEE X73-PoC-MDC series of standards. To deal with limited resources of a microcontroller-based interface, which is embedded to each physical therapy device, adopted concepts are simplified. The proposed protocol provides plug-and-play capability of physical therapy devices through handling of devices discovery and synchronization of therapy parameters. It also supports intelligent cabinet managing from the control station. The protocol is implemented on free RTOS and PIC 18F family of microcontrollers. The initial implementation proves that the networked physical therapy devices can respond to all requests in a timely manner.*

1. UVOD

Pod fizikalnom terapijom podrazumeva se medicinski tretman ljudi s ciljem da se spreče, isprave ili ograniče fizički nedostaci, problemi u kretanju i ublaži bol nastao kao rezultat povreda, bolesti ili drugih fizičkih ili mentalnih stanja. Od najranijih početaka, fizikalna terapija podrazumeva korišćenje fizičkih fenomena, ak-

tivnosti i uređaja radi prevencije i isceljenja [1].

U novije vreme, sa razvojem elektronike, medicinski uređaji se sve više koriste u fizikalnoj terapiji. Zadatak ovih uređaja je da upravljaju i usmeravaju neki od fizičkih agenata, kao što su toplota, voda, vazдушna strujanja, zvuk, svetlost, pritisak, elektricitet ili elektromagnetno polje, ka telu pacijenta. Moderni uređaji za fizikalnu terapiju imaju posebne upravljačke elemente za rukovanje agentima a većina poseduje mogućnosti umrežavanja. Povezivanje uređaja u zajedničku mrežu omogućava lakše upravljanje i razmenu podataka.

Postoji veliki broj standardizovanih protokola za komunikaciju medicinskih uređaja i prenos podataka [2], [3], [4], [5]. Ipak, postizanje interoperabilnosti uređaja različitih proizvođača nije trivijalan zadatak. Istraživanja su usmerena ka standardizaciji formata podataka i protokola za komunikaciju. Iako su naponi standardizacije usmereni ka medicinskim uređajima za negu i praćenje vitalnih funkcija pacijenata, oblast njihovog značaja se lako može proširiti na druge oblasti.

U ovom radu će biti opisani prvi rezultati projektovanja i implementacije protokola aplikativnog nivoa za komunikaciju uređaja za fizikalnu medicinu sa uređajima sličnog tipa kao i sa centralnom upravljačkom stanicom. Osnovni koncepti biće usvojeni od IEEE ISO/IEEE X73-PoC-MDC serije standarda [6] i pojednostavljeni kako bi se prilagodili korišćenju platformi. Struktura i format poruka protokola biće prilagođeni a osnovni koncepti, korišćeni kod ove grupe standarda, biće implementirani. Implementacija će biti bazirana na free RTOS-u i PIC 18F kontroleru.

2. KABINET ZA FIZIKALNU MEDICINU

Protokol za komunikaciju uređaja za fizikalnu terapiju se razvija na Elektronskom Fakultetu u Nišu u okviru projekta "Inteligentni Kabinet za Fizikalnu Medicinu - IKAFIM", finansiran od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, pod brojem TR32012. Predviđeno je da kabinet bude prilagođen širem krugu medicinskih ustanova za unapređenje rada laboratorija za fizikalnu terapiju. Tipični kabineti za

fizikalnu terapiju sastoje se od većeg broja uređaja različitog tipa. Najčešće se pacijenti podvrgavaju terapijama na više različitih uređaja. Glavni cilj projekta je nadogradnja hardverske platforme postojećeg skupa uređaja za fizikalnu terapiju s ciljem njihovog umrežavanja i integracije u upravljivi sistem. Sistem stanice treba da obezbedi: prećenje rada uređaja, održavanje baza fizikalnih terapija i obradu prikupljenih podataka o obavljenim terapijama. Kontrolna stanica, takođe, treba da obezbedi podršku za vođenje evidencije o postojećim uređajima koji se koriste a koji neće biti povezani u mrežu kabineta. Sistem predviđa postojanje centralnog sistema za upravljanje i nadgledanje uređaja u kabinetu.

Početni zahtevi u okviru IKAFIM projekta su:

- Analiza karakteristika postojećih uređaja za fizikalnu terapiju kako bi se razvio referentni softverski i hardverski model;
- Projektovanje nadgradnje postojeće softverske i hardverske platforme;
- Razvoj protokola za međusobnu komunikaciju uređaja za fizikalnu terapiju i komunikaciju sa upravljačkim sistemom;
- Analiza postojećih standarda za interoperabilnost medicinskih uređaja;
- Razvoj softverske komponente za vođenje evidencije o rasporedu terapija, pacijentima i medicinskoj opremi.

Polaznu osnovu integrisanog sistema čine uređaji firme Elektromedicina d.o.o. iz Niša [7]: Eksposan, Magnemed, Intermed, Vakumed, Diaton and Sonoton i prikazani su na slici 1. Svaki uređaj dozvoljava medicinskom osoblju izbor inicijalnog skupa parametara za tretiranje pacijenta a vrednost parametara i njihova promena vidljiva je na LCD ekranu uređaja.

3. KONCEPTI X73 STANDARDA I MOGUĆNOSTI PRIMENE

Po X73-PoC-MDC seriji standarda [8], dva najbitnija kriterijuma za povezivanje medicinskih uređaja su:

- Obezbeđivanje plug-and-play interoperabilnosti za medicinske uređaje za negu zdravlja;
- Olakšavanje razmene parametara terapija i vitalnih medicinskih podataka.

Delovi standarda X73 se i dalje razvijaju s ciljem da se poboljšaju performanse i prilagode velikom broju različitih tehnologija koje su na raspolaganju. Takođe,

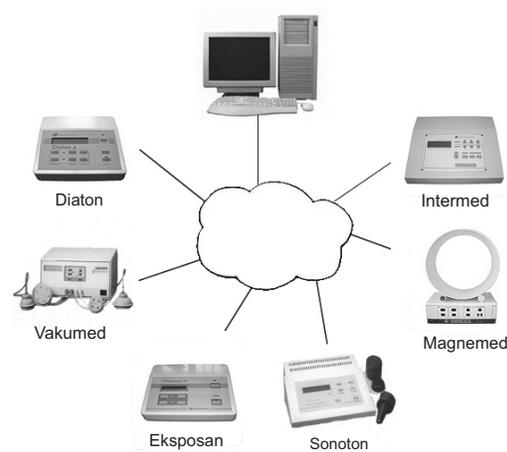
postoji veliki broj različitih rešenja čiji je cilj da se pokažu teškoće i problemi u praktičnoj implementaciji standarda [2], [9].

X73 serija standarda pokriva sledeće oblasti interoperabilnosti medicinskih uređaja [8]:

- Standardizaciju formata podataka u vidu objektno-orijentisanog modela koji se može primeniti na raznovrsne uređaje;
- Servise za opštu upotrebu kao što je sistem notifikacija;
- Način povezivanja, bežične ili žičane veze;
- Topologije povezivanja;
- Gejtvej standarde za međusobno povezivanje različitih mreža i potrebne konverzije i prilagođavanje podataka.

U prvoj fazi razvoja protokola u okviru IKAFIM projekta razmatrane su prve dve oblasti. One opisuju strukturu i kodiranje poruka protokola kao i konačne automate za realizaciju glavnih scenarija u komunikaciji.

Slika 1 prikazuje topologiju inteligentnog kabineta za fizikalnu medicinu. Šest različitih tipova uređaja povezani su u lokalnu mrežu i kontrolisani sa centralnog računara.



Slika 1: Topologija inteligentnog kabineta za fizikalnu medicinu

Navedeni osnovni principi iz X73 serije standarda mogu se sagledati i za slučaj uređaja za fizikalnu terapiju. Plug-and-play interoperabilnost podrazumeva automatsko registrovanje novog uređaja u postojeći kabinet, kao i sinhronizaciju parametara fizikalnih terapija sa kontrolne stanice. Konfiguracija uređaja kod pristupa mreži može se obaviti automatski ili od strane medicinskog osoblja.

Kada je reč o transportnim tehnologijama, X73 serija standarda definiše IrDA i RS232. Razlog za to je činjenica da većina današnjih uređaja poseduje podršku za ove načine komunikacije, pa je cena razvoja i implementacije X73 smanjena. Ipak, u novije vreme, sve više uređaja ima podršku za standardne mrežne tehnologije [8], pa se očekuju buduća proširenja standarda.

U slučaju rada sa uređajima za fizikalnu medicinu, obično nema zahteva za prenosom veće količine podataka i pouzdanost komunikacija često nije od presudnog značaja. Imajući to u vidu, pogodne karakteristike i principi su usvojeni ali i pojednostavljeni za implementaciju na platformi ograničenih resursa.

Za potrebe umrežavanja uređaja za fizikalnu terapiju u ovom radu korišćemo osnovne koncepte X73 standarda preko ethernet protokola i TCP/IP steka-a.

4. PROJEKTOVANJE KOMUNIKACIONOG PROTOKOLA UREĐAJA ZA FIZIKALNU MEDICINU

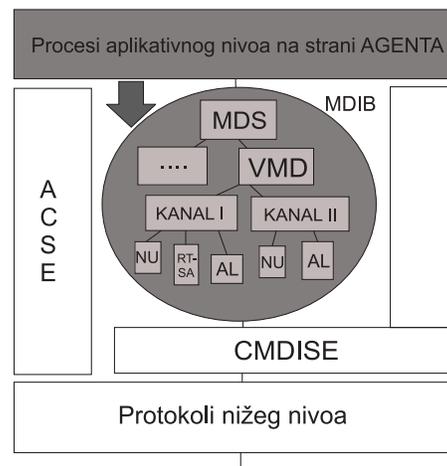
X73 nije jedini skup standarda koji se odnosi na oblast interoperabilnosti i komunikacije medicinskih uređaja. S ciljem da se ispituju mogućnosti komunikacije uređaja za fizikalnu medicinu, X73 i koncepti koje uvodi poslužili su kao osnova budućem razvoju sistema u ovom pravcu.

Slika 2 prikazuje agent-menadžer model u okviru X73 serije standarda. U okviru X73 serije standarda, baza medicinskih podataka (engl. Medical Data Information Base (MDIB)) predstavlja objektno-orijentisani model podataka kao skup objekata sa pridruženim skupom atributa i metoda. Kao što je prikazano na slici 2, MDIB predstavlja skup radnih parametara agenta. Kodiranje i dekodiranje poruka X73 [2] nije primenljivo za slučaj uređaja za fizikalnu terapiju zbog prirode i broja različitih poruka, pa je format poruka pojednostavljen kako bi se smanjili procesni zahtevi.

Protokol projektovan u ovom radu prati osnovnu strukturu ovog modela, uz zanemarivanje kompleksne hijerarhijske strukture u cilju implementacije na kontroleru sa veoma ograničenim resursima.

Agenti su softverske komponente koje sakupljaju, skladište i prenose merene podatke (slika 2). U slučaju uređaja za fizikalnu medicinu, agenti su identifikovani kao podsistemi koji upravljaju fizičkim stimulacijama, beleže vrednosti radnih parametara i na zahtev ih šalju kontrolnoj stanici.

Menadžer predstavlja informacioni sistem koji sakuplja, skladišti i obrađuje podatke pristigle sa nadgledanih agenata. U slučaju uređaja za fizikalnu medicinu, menadžer prikupljene podatke obrađuje u cilju donošenja zaključaka i sprovođenja statističke



Slika 2: Agent-menadžer model

analize. Menadžer za praćenje vitalnih znakova pacijenta u X73 standardu ima bitniju ulogu u reagovanju na nepravilnosti ili nedozvoljene vrednosti merenih podataka, što je blaži zahtev kada je reč o uređajima za fizikalnu medicinu.

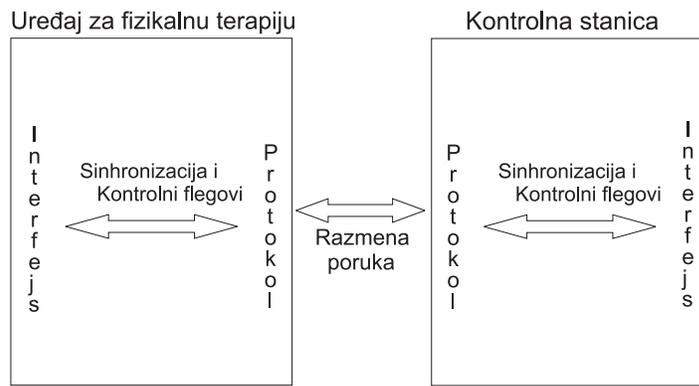
Kako bi se ostvarila direktna komunikacija dva uređaja za fizikalnu terapiju, ili uređaja za fizikalnu terapiju i kontrolnog računara, uređaj po priključivanju na mrežu kabineta prolazi kroz sledeće faze:

1. povezivanje,
2. asocijacija,
3. konfiguracija i
4. režim rada.

U procesu povezivanja na mrežu, uređaj šalje upit s ciljem da otkrije kontrolnu stanicu i preuzme inicijalna podešavanja. U fazi asocijacije predviđeno je slanje sopstvenog identifikacionog broja i registrovanje identifikatora mreže kojoj uređaj pristupa. Faza konfiguracije uređaja zadužena je za slanje upita drugim uređajima ili kontrolnoj stanici kako bi se dobila validna baza terapija.

U radnom režimu uređaj periodično oglašava svoje prisustvo na mreži slanjem hello poruka. U ovom režimu, u cilju centralizovanog upravljanja uređajima za fizikalnu medicinu, protokolom je predviđena mogućnost da kontrolna stanica može poslati zahtev za započinjanjem, zaustavljanjem i izmenom parametara terapije.

Osnovni elementi protokola prikazani su na slici 3. Komunikacija uređaja za fizikalnu medicinu i kontrolne stanice obavlja se preko UDP protokola. Kako UDP protokol ne obezbeđuje pouzdanu kontrolu prenosa, projektovan je i jednostavan mehanizam retransmisije



Slika 3: Logičke celine protokola

sa sekvencnim brojevima. UDP je usvojen zbog manjih procesnih zahteva i zbog lokalnosti komunikacija. Komponenta protokola na strani uređaja vrši prijem poruka sa kontrolne stanice i obaveštava interfejs na uređaju o nastalim promenama korišćenjem kontrolnih flegova (slika 3). Kod akcija koje zahtevaju potvrdu operatera, odgovor se preko interfejsa na strani uređaja prosleđuje komponenti protokola do kontrolne stanice.

Identifikovani su sledeći slučajevi upotrebe:

- Pokretanje terapije sa postavljenim parametrima sa kontrolne stanice;
- Privremeno ili trajno zaustavljanje terapija sa kontrolne stanice;
- Izmena parametara terapije sa kontrolne stanice;
- Periodična razmena statusnih informacija između uređaja i kontrolne stanice;
- Slanje informacija o promeni stanja na uređaju ili trenutno postavljenih parametara terapije bez prethodne prozivke;
- Prijem i osvežavanje baze fizikalnih terapija od drugih uređaja ili kontrolne stanice;
- Registrovanje novih terapija;

Na osnovu projektovane strukture protokola, date na slici 3, i identifikovanih slučajeva upotrebe, projektovano je sedam sekvenci događaja. Na slici 4 prikazan je slučaj pokretanja terapije sa kontrolne stanice.

Korišćenjem aplikacije na strani kontrolne stanice (slika 4), šalje se zahtev za započinjanje terapije. Nakon što zahtev bude primljen na strani uređaja i bude potvrđen od strane operatera, potvrda o započinjanju se vraća do komponente protokola na strani kontrolne stanice. Ova komponenta osvežava i pamti novo stanje konkretnog uređaja (*promena_stanja()*)

i obaveštava korisnika o statusu započinjanja terapije. Ostale sekvence projektovane su po zahtevima na sličan način.

Inicijalni rezultati implementacije pokazuju zamearljivo zauzeće resursa za razliku od očekivane kod potpune implementacije X73 standarda.

5. IMPLEMENTACIJA

Nadogradnja postojećih uređaja realizovana je kao zasebna mikrokontrolerska pločica, sa Microchip PIC 18F87J60 kontrolerom sa integrisanim ethernet kontrolerom. Protokol stek realizovan je korišćenjem MikroC [10] programskog jezika, MikroC PRO razvojnog okruženja i MikroC TCP/IP biblioteka u OSA multitasking operativnom sistemu [11]. Komponente protokola na strani kontrolne stanice realizovane su C# programskim jezikom.

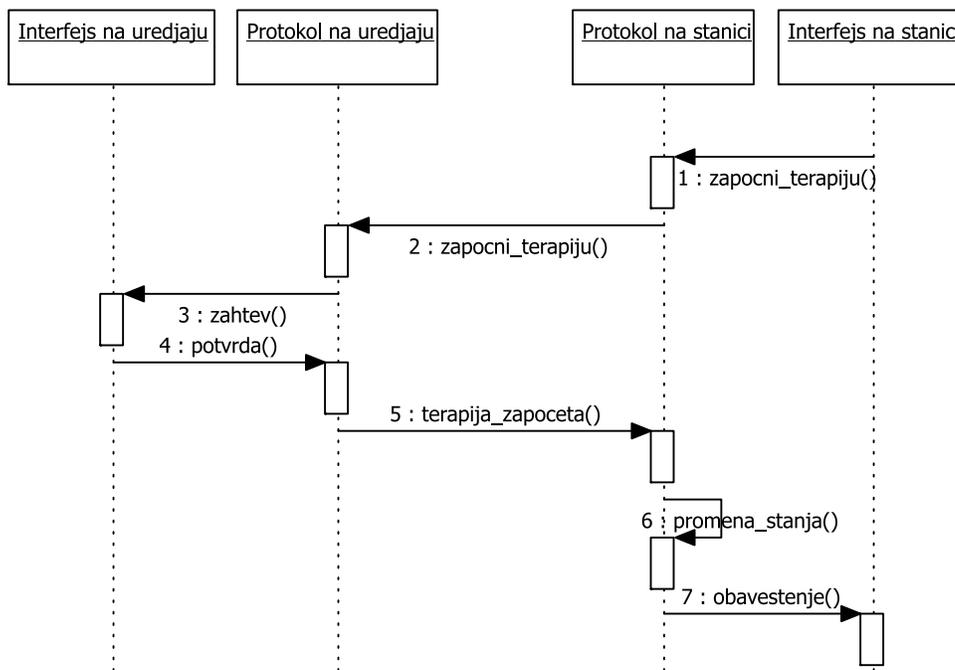
U tabeli 1 dat je ukupan broj različitih poruka koje se mogu razmenjivati između elemenata protokola prikazanih na slici 3. Ilustracije radi, u okviru dijagrama sekvence prikazanog na slici 4 postoji 7 tipova poruka iz različitih kategorija datih u tabeli 1.

Poruka	#
Protokol na uređaju → Protokol na stanici	15
Protokol na stanici → Protokol na uređaju	19
Protokol na stanici → Interfejs na stanici	20
Interfejs na stanici → Protokol na stanici	8
Protokol na uređaju → Interfejs na uređaju	15
Interfejs na uređaju → Protokol na uređaju	15

Tabela 1: Broj različitih poruka razmenjenih između komponentata u sistemu

U tabeli 2 dat je procenjeni broj razmenjenih poruka između uređaja za fizikalnu terapiju i kontrolne stanice za sve predviđene scenarije.

Analizom veličine tipičnih kabineta za fizikalne tera-



Slika 4: Sekvenca započinjanja terapije

pije, utvrđeno je da će mreža kabineta brojati od 10 do 50 uređaja različitog tipa. Kako je tipično vreme između dve terapije trideset minuta, scenariji identifikovani u tabeli 5 generisaće neznatnu količinu saobraćaja.

Maksimalna veličina poruke projektovanog protokola je 100 bajtova. Za vreme trajanja terapije potrebno je razmeniti sledeće poruke: start terapije (2 poruke), promena parametara terapije (2 poruke) i zaustavljanje terapije (2 poruke) tj. oko 600B podataka. Uzimajući u obzir i prosečnu veličinu poruka protokola od 80B, ethernet mreža će zadovoljiti potreban propusni opseg za identifikovane scenarije.

Scenario	#
Registrowanje uređaja	5
Razmena hello poruka	2
Započinjanje terapije	2
Zaustavljanje terapije	2
Izmena parametara terapije	2
Sinhronizacija baza terapija	24
Poruke bez prozivke (izmena stanja ili parametara terapije na uređaju)	2

Tabela 2: Ukupan broj razmenjenih poruka između i uređaja i kontrolne stanice za izabrane scenarije

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je i predstavljen aplikativni protokol za povezivanje i komunikaciju uređaja za

fizikalnu terapiju. Uređaji komuniciraju u sklopu inteligentnog kabineta za fizikalnu medicinu. Razvoj protokola baziran je na osnovnim konceptima IEEE ISO/IEEE X73-PoC-MDC serije standarda. Kako bi se implementacija prilagodila korišćenoj platformi, usvojeni koncepti su pojednostavljeni. Razvijeni protokol obezbeđuje plug-and-play svojstva inteligentnom kabinetu kroz automatsko otkrivanje kontrolne stanice i sinhronizaciju baze fizikalnih terapija. Implementacija je bazirana na free RTOS-u i PIC 18F kontroleru. Prvi rezultati implementacije pokazuju da se protokol može uspešno iskoristiti za povezivanje i komunikaciju uređaja za fizikalnu terapiju u realnom vremenu. Buduća poboljšanja odnosiće se na povećanje pouzdanosti komunikacije, poboljšanje sigurnosti komunikacija, kao i analizu alternativnih softverskih rešenja.

Istraživanje i implementacija protokola sprovedeni su u okviru projekta tehnološkog razvoja pod nazivom Inteligentni Kabinet za Fizikalnu Medicinu - IKAFIM TR32012, koji je podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke Vlade Republike Srbije u periodu 2011-2014. godine.

LITERATURA

- [1] American Physical Therapy Association, *Today's Physical Therapist: A Comprehensive Review of a 21st-Century Health Care Profession*, pp.85-86, January, 2011.
- [2] I. Martínez, J. Fernández, M. Galarraga, P. de Toledo, J. Escayola, S. Jiménez-Fernández, S.

- Led, M. Martínez-Espronedada and J. García, *Implementation Experience of a Patient Monitoring Solution based on End-to-End Standards*, Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE, pp.6425-6428, August 2007
- [3] Hak Jong Lee and Sun Hee Lee and Kyoo-Seob Ha and Hak Chul Jang and Woo-Young Chung and Ju Young Kim and Yoon-Seok Chang and Dong Hyun Yoo, *Ubiquitous healthcare service using Zigbee and mobile phone for elderly patients*, International Journal of Medical Informatics, vol.78, number 3, pp.193-198, 2009
- [4] Wang Cai-feng Liu Zhi-gui Meng Gang, *Design of Medical Monitoring System based on Bluetooth Technique and GSM Communication*, Microcomputer Information;2008-16
- [5] Upkar Varshney, *Using wireless technologies in healthcare*, International Journal of Mobile Communications, Volume 4, Number 3, pp.354-368, 2006.
- [6] <http://www.iso.org/iso/search.htm?qt=11073&searchSubmit=Search&sort=rel&type=simple&published=true>, posećeno januara 2012.
- [7] <http://www.elektromedicina.rs/>, posećeno januara 2012.
- [8] Galarraga M, Serrano L, Martínez I, de Toledo P., *Standards for medical device communication: X73 PoC-MDC*. Stud Health Technol Inform. vol.121, pp.242-56, 2006.
- [9] Jianchu Yao, Steve Warren, *Applying the ISO/IEEE 11073 Standards to Wearable Home Health Monitoring Systems*, The Journal of Clinical Monitoring and Computing, Vol. 19, No. 6. (December 2005), pp. 427-436.
- [10] <http://www.mikroe.com/>, posećeno januara 2012.
- [11] <http://www.pic24.ru/doku.php>, posećeno januara 2012.