

# Prenosni sistem za snimanje kinematike i dinamike hoda zasnovan na *Bluetooth* komunikaciji

Nenad S. Jovičić, Milica D. Đurić i Dejan B. Popović, *Member, IEEE*

**Sadržaj - Rad prikazuje novo rešenje prenosnog sistema za snimanje kinematike i dinamike hoda koji se zasniva na *Bluetooth* komunikaciji između računara i prenosnog uređaja. Novi akvizicioni sistem omogućava snimanje do 24 naponska signala, njihovo prikazivanje u realnom vremenu, i memorisanje sa ciljem kasnije analiza merenja. Uredaj je pre svega namenjen primeni akcelerometara realizovanih u MEMS tehnologiji, piezoelektričnih pretvarača za merenje sile, ali i žiroskopa, goniometara koji su od značaja za analizu kinematike i dinamike hoda. Uredaj je testiran za analizu hoda sa zdravim ispitanicima i osobama s neurološkim problemima.**

**Ključne reči - Bluetooth, akvizicija, MEMS**

## I. UVOD

**A**NALIZA kinematike i dinamike hoda je od značaja za pravilnu neurološku dijagnostiku. Poznavanje kinematičkih i dinamičkih parametara hoda (simetrija, brzina kretanja, položaj segmenata tela u odnosu na vertikalnu, sile reakcije podloge na noge, itd.) omogućuju procenu nivoa hendikepiranosti, toka oporavka u rehabilitaciji i potencijalno senzorno upravljanje rehabilitacionom pomagalima.

Postoji veći broj sistema (Popović i Sinkjær, 2000, glava 3) koji omogućuju snimanje kinematičkih i dinamičkih parametara hoda. Najpouzdaniji i tačni uređaji su stacionarni i smešteni u specijalnim laboratorijama za analizu hoda. Neophodni uređaji u laboratoriji su veći broj kamera koji snimajući zračenje refleksivnih markera postavljenih na telo određuju položaj tačaka u prostoru, i merne platforme ugrađene u pod koje mere silu kojom deluje nogu na podlogu. Pored ovih stacionarnih uređaja koriste se i pretvarači koji se postavljaju na telo (goniometri, merači sile) koji su povezani sa računarom i sa manjom preciznošću, u odnosu na kamere i merne platforme, registruju parametre koji definišu hod. Razvoj MEMS [4] tehnologije, mikroračunari koji omogućuju A/D konverziju, razvoj uređaja koji olakšavaju bežični prenos, i nove tehnike obrade signala otvaraju nove mogućnosti merenja parametara hoda.

Mi smo napravili prenosni sistem koji prikuplja signale sa senzora i šalje ih preko bežične komunikacije

(*Bluetooth*) [2] na računar. Taj računar radi kao kontroler merenja, ali i uređaj za snimanje podataka. Ovaj sistem ima 24 ulazna kanala i mogućnost monitoringa u realnom vremenu na računaru. *On-line* monitoring je posebno bitan zbog eventualnih korekcija prilikom postavljanja senzora, a pruža neophodnu kontrolu priključaka i senzora tokom celog merenja. Sistem podržava upotrebu senzora koji mere pritisak koristeći efekte piezorezitovnosti (FSR, Interlink, CA, U.S.A) [5], MEMS [4] akcelerometara i goniometara. Konstrukcija sistema omogućava i prikupljanje podataka sa drugih senzora koji daju naponski signal u posegu od 0 do 3.3 V. Snimljeni podaci se kasnije koriste za *off-line* obradu.

U radu je dat opis konstrukcije uređaja i njegovog interfejsa sa računaram, kao i softvera za vizualizaciju dobijenih rezultata.

## II. OPIS SISTEMA

Hardver senzorskog sistema čine inteligentni prenosni uređaj sa ugrađenom bežičnom komunikacijom i računar sa odgovarajućim modulom za bežičnu komunikaciju na kome je instaliran specijalni softver za snimanje i pregled mernih rezultata.

Prenosni uređaj je jednostavan za korišćenje, postavlja se relativno brzo i lako, i robustan je na mehaničke potrese.

Prenosni uređaj ima baterijsko napajanje sa četiri NiMH (nikl metal hidrid) baterije od 2700 mAh koje obezbeđuje neprekidan rad uređaja u trajanju od oko 40 h.

Uredaj omogućava povezivanje do 24 ulazna naponska kanala. Od toga je 8 kanala predviđeno za FSR senzore, a 16 kanala za akcelerometre i/ili goniometre.

Brzina akvizicije podataka je 100 odbiraka u sekundi. Tokom intervala vremena  $t_0=10$  ms, mikrokontroler uzima odbirke sa svih senzora, pakuje ih i šalje preko modula za bežičnu komunikaciju ka stacionarnom računaru.

Rezolucija A/D konvertora je 10 bita, odnosno 1024 nivoa.

Na uređaju postoje 24 utičnice za priključivanje senzora (8 FSR senzora i 16 akcelerometara i/ili goniometara).

Uredaj ima tri celine: ulazni deo (za kondicioniranje signala), mikrokontroler i modul za bežičnu komunikaciju (*Bluetooth*). Blok šema uređaja za snimanje hoda prikazana je na sl. 1.

### A. Senzori

Za potrebe snimanja karakteristika hoda, korišćena su 3 tipa senzora: FSR (*force-sensing resistor*) senzori,

Nenad S. Jovičić, Milica D. Đurić, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Dejan B. Popović, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet i Aalborg University, SMI, Denmark (tel. +381 11 3248464, fax +381 11 3248681; mail: [gdp@smi.auc.dk](mailto:gdp@smi.auc.dk), [milica@eunet.yu](mailto:milica@eunet.yu), [nenad@el.etf.bg.ac.yu](mailto:nenad@el.etf.bg.ac.yu))

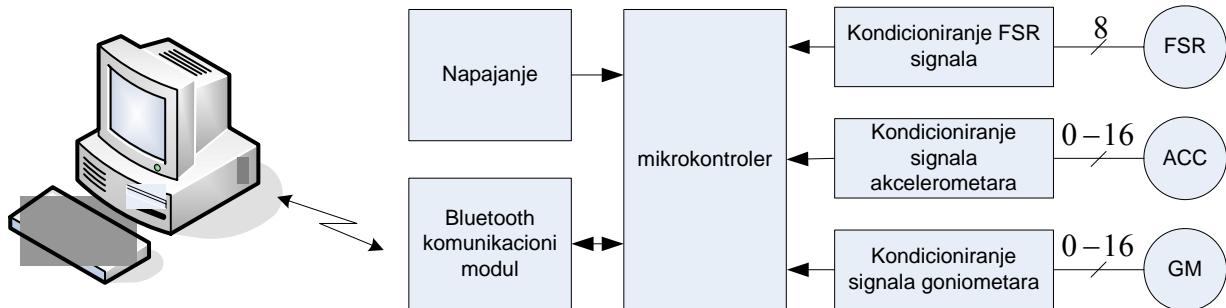
akcelerometri i goniometri.

FSR senzori imaju osobinu da im se otpornost menja usled delovanja sile. U ovom radu se koriste za analizu pritisaka koje stopalo proizvodi na podlogu u toku hoda ili stajanja. Aktivna površina senzora je kružnog oblika, prečnika 18 mm. Korišćeni senzori su proizvod firme Interlink Electronics, model 402.

Korišćeni senzori ubrzanja su analogni troosni MEMS

akcelerometri firme Analog Devices, model ADXL330. Opseg merenja im je  $\pm 3g$  i napajaju se sa 3,3 V. Na samim akcelerometrima propisni opseg se ograničava na 50 Hz.

Dvoosni fleksiblni goniometri su senzori koji rade koristeći merne trake, i njihov izlaz je doveden na prenosni uređaj koristeći interfejs ADU310 (Bimoetric, Gwent, U.K.) koji se koristi za kalibraciju senzora.



Sl. 1. Blok šema senzorskog sistema.

#### B. Deo za kondicioniranje signala

U delu za kondicioniranje signala, signal sa senzora (struja ili napon u nekom opsegu) prilagođava se nivou potrebnom za optimalan rad A/D konvertora mikrokontrolera.

FSR senzor se napaja konstantnim naponom. Struja koja u tom slučaju protiče kroz senzor je visoko korelisana sa silom pritiska koji deluje na senzor. Struja se nakon pretvaranja u napon vodi na A/D konvertor.

U električnom smislu, signali sa akcelerometara i goniometara su identičnih karakteristika. To su naponi u opsegu od 0 do 3,3V. Kondicioniranje se svodi na niskofrekvenčno filtriranje jednostavnim RC kolom. Signal sa izlaza filtra se direktno vodi na odgovarajući ulaz A/D konvertora.

#### C. Mikrokontroler

Mikrokontroler upravlja merenjima, vrši A/D konverziju i ostvaruje vezu sa modulom za bežičnu komunikaciju.

Uz mikrokontroler se nalaze dva analogna multipleksera. Jednim multiplekserom se 8 signala sa FSR senzora (preciznije, iz dela za kondicioniranje signala) multipleksira na jedan analogni ulaz A/D konvertora. Drugim multiplekserom se signali sa 16 kanala akcelerometara i/ili goniometara multipleksiraju na drugi analogni ulaz A/D konvertora. A/D konvertor je integrisan u mikrokontroler.

Digitalizovani i spakovani signali se zatim šalju prema modulu za bežičnu komunikaciju.

#### D. Modul za bežičnu komunikaciju

Komunikacija između prenosnog uređaja i stacionarnog računara obavlja se bežičnim putem, pomoću odgovarajućeg modula. Modul sadrži specijalizovani hardver koji implementira Bluetooth [2] protokol. Modul je klase 1, što omogućava domet do 100 m.

Ovom modulu se spolja pristupa preko serijskog

komunikacionog protokola. OSI (*Open Systems Interconnection Basic Reference Model*) slojevi su implementirani u samom modulu. Modul se kontroliše pomoću skupa AT komandi.

### III. UPOTREBA UREĐAJA

Uređaj je jednostavan za upotrebu.

Na njemu se nalazi prekidač kojim se uređaj uključuje. Indikator je svetleća dioda (crveni LED) koji svetli kada je uređaj uključen. Svetlo sa iste diode, kratko vreme nakon uključivanja, počinje da treperi, i time pokazuje da je bežična komunikacija uspostavljena, i da može da se počne merenje.

Na uređaju se nalaze konektori za FSR senzore, akcelerometre i/ili goniometre.

Uređaj se može nositi okačen o pojasa ili u ruci (sl. 2).



Sl. 2. Fotografije prenosnog uređaja prilikom merenja.

#### IV. SOFTVER ZA AKVIZICIJU I SNIMANJE PODATAKA

U programskom okruženju *LabWindows/CVI* [3] razvijena je aplikacija *Bluetooth Acquisition System* (bas.exe) za akviziciju i snimanje. Aplikacija se preko instalacionog paketa može instalirati na bilo koji desktop ili laptop računar, jednostavna je za korišćenje i prilagođena potrebama korisnika (sl. 3).

Kao i prenosni uređaj, softver je predviđen za korišćenje 8 FSR senzora i 16 akcelerometara i/ili goniometara. U okviru softvera *Bluetooth Acquisition System*, predviđena su dva režima rada:

1. prikazivanje signala tokom primanja sa prenosnog uređaja i automatsko snimanje tih signala,
2. prikazivanje snimljenih signala (zapamćenih u datoteci).

Na horizontalnoj osi grafika prikazuje se broj odbiraka.

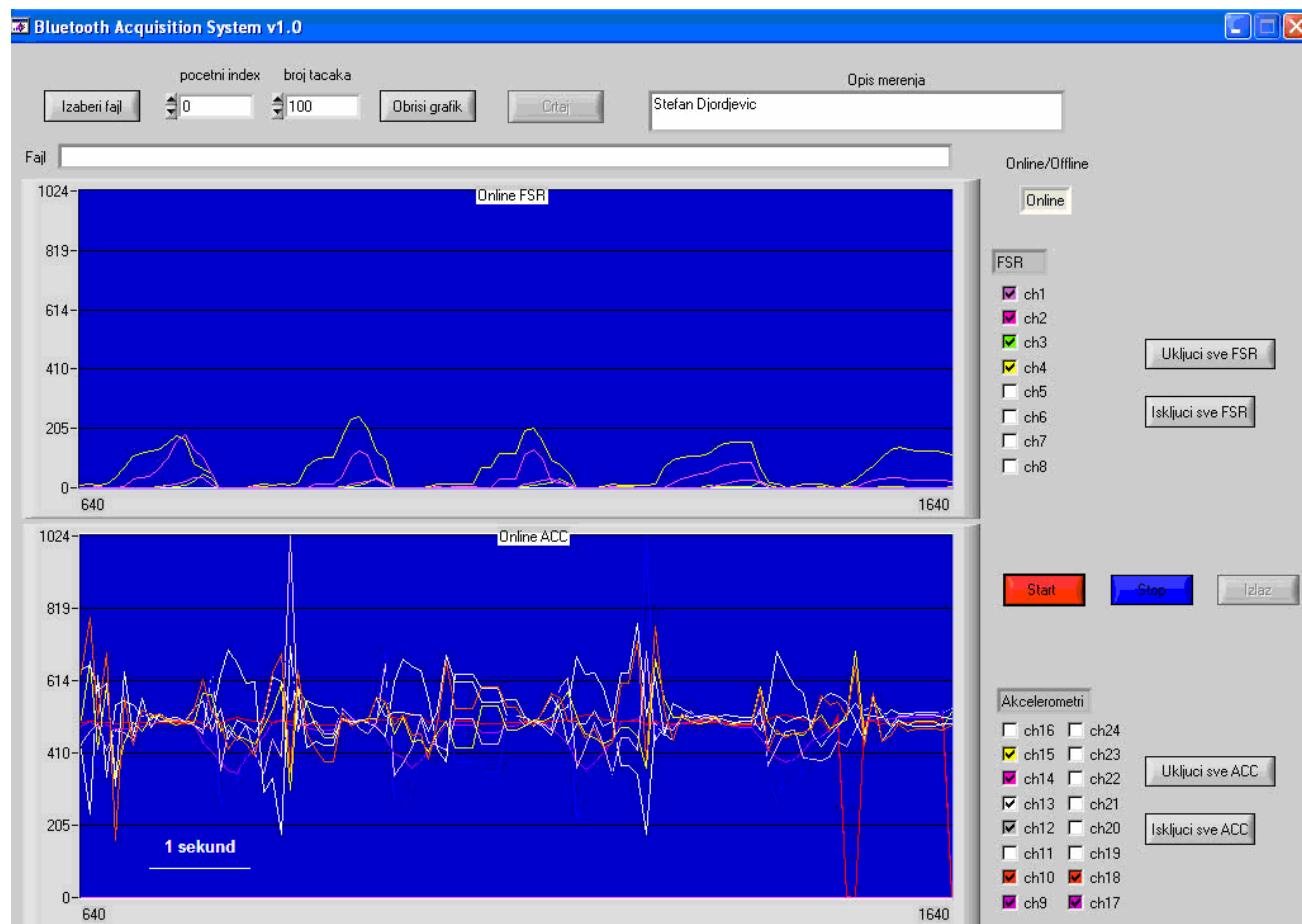
Period odabiranja je 10 ms, tako da 100 odbiraka odgovara jednoj sekundi. Na vertikalnoj osi je obeležen nivo odbiraka (rezolucija od 10 bita).

Tokom merenja, digitalizovani signali se automatski snimaju i čuvaju kao binarni fajl.

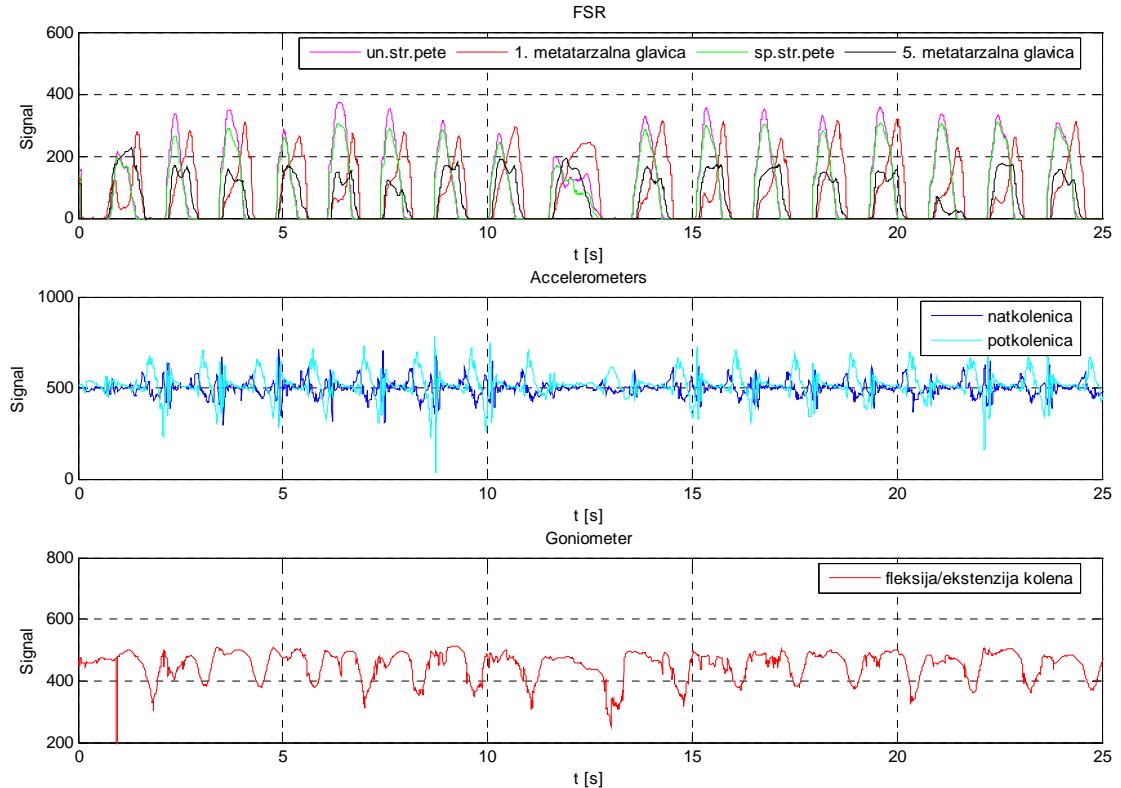
Ime svakog fajla se automatski generiše i sadrži datum i vreme početka snimanja, a dodeljena mu je ekstenzija \*.gaz. Fajlovi se snimaju direktno na disk, u direktorijum c:\Program Files\bluetooth system. Lokacija i ime fajla se vide u prozoru Fajl.

Na istim dijagramima na kojima se u toku akvizicije prikazuju trenutni signali, mogu se prikazivati signali ranije snimljeni u datoteku. Selekcija kanala koji će se prikazivati se vrši preko odgovarajućih checkbox kontrola.

Za dalju obradu i prikazivanje signala može se koristiti programski paket MATLAB.



Sl. 3. Maska pri pokretanju softvera *Bluetooth Acquisition System* u online režimu rada.



Sl. 4. Snimljeni signali prikazani u MATLAB softverskom paketu (gore: FSR signali, sredina: signali sa akcelerometara, dole: signali sa goniometara).

Na slici 4 je prikazan primer jednog merenja obrađenog u programskom paketu MATLAB. Korišćena su četiri FSR senzora (po jedan na unutrašnjoj tj. spoljašnjoj strani pete i na prvoj i petoj metatarzalnoj glavici), akcelerometri (postavljeni na potkolenicu i natkolenicu kao što je prikazano na sl. 2 levo) i goniometar koji je merio fleksiju odnosno ekstenziju kolena (prikazano na sl. 2 desno).

#### V. ZAKLJUČAK

Analiza postojećih sistema nas je inspirisala da napravimo ovaj uređaj koji je jednostavan za upotrebu, lak za nošenje i najbitnije – pruža mogućnost *on-line* monitoringa u realnom vremenu. Jeftiniji je od ostalih proizvoda na tržištu, posebno ako se uzmu u obzir i merne platforme čija je cena neuporedivo veća, a primena ograničena na prostorije laboratorijskih u kojima su postavljene.

Prednosti ovog sistema su jednostavna upotreba, širok spektar primene kod snimanja karakteristike hoda, *on-line* monitoring, dugo trajanje baterija (mogućnost snimanja i do 40h) kao i manja cena u odnosu na komercijalne senzorske sisteme na tržištu.

Mane ovog sistema su kablovi koji se koriste za povezivanje senzora sa prenosnim uređajem. Za što bolju detekciju i detaljniju analizu potreban je veći broj senzora što znači i veći broj kablova. Ovo može da uslovi sporije postavljanje sistema na subjekte što može biti problem u radu sa pacijentima. Budućnost: prelazak na bežičnu komunikaciju između samih senzora i prenosnog uređaja.

#### LITERATURA

- [1] Milica Djurić, Raspodela sile reakcije podloge pri hodu sa različitim visinama potpetica, Diplomski rad, 2007.
- [2] <http://www.bluetooth.org/>
- [3] <http://www.ni.com/lwcvi>
- [4] <http://www.analog.com/>
- [5] <http://www.interlink.com/>

#### ABSTRACT

**Abstract:** We present a novel portable data acquisition system for kinematics and dynamics of the walking. The system comprises acquisition and Bluetooth modules built into a light small device worn by the individual while walking and communicating with a remote PC based computer. The system allows recordings of up to 24 channels, real time monitoring, and storing for later data analysis. The device was primarily designed for MEMS bases accelerometers, force sensing resistors; but, it also supports the use of MEMS based gyroscopes, goniometers, and other sensors that might be of interest for kinematic and dynamic analysis of the walking. The data acquisition system was tested in individuals without and with sensory-motor impairments.

#### PORTABLE DATA ACQUISITION SYSTEM FOR GAIT ANALYSIS BASED ON BLUETOOTH COMMUNICATION

Nenad S. Jovičić, Milica D. Djurić, and Dejan B. Popović