

Detekcija fizičkih aktivnosti pomoću akcelerometra, magnetometra i žiroskopa

Zoran Ćirović, Aleksandar Simović

Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija
Beograd, Srbija

zoran.cirovic@gmail.com, aleksandars@viser.edu.rs

Sažetak—Ovaj rad prikazuje deo istraživanja u oblasti detekcije fizičkih aktivnosti. Detekcija je zasnovana na signalima akcelerometra, žiroskopa i magnetometra. Korišćena je javno dostupna baza uzoraka nHealth. Ispitivanja su vršena na jedanaest karakterističnih obeležja. U okviru ispitivanja je urađena selekcija obeležja i testiranje detekcije pojedinačnih aktivnosti. Svi testovi su urađeni sa prethodnom krosvalidacijom.

Ključne reči – prepoznavanje; fizička aktivnost; akcelerometar; žiroskop; magnetometar

I. UVOD

Sve je više aplikacija namenjenih pametnim mobilnim uređajima koje mogu doprineti zdravlju i zdravijem načinu života. Za rad jedne grupe takvih aplikacija od posebnog značaja je praćenje fizičke aktivnosti korisnika. Imajući u vidu standardne senzore u pametnom telefonu detekcija se uglavnom zasniva na signalima dobijenim od takvih senzora, [1]–[3].

Danas prosečan pametni mobilni telefon ima 3 ili 4 senzora. Nešto bolji modeli imaju ih i više. Na primer, Samsung Galaxy S4 sadrži: 1) senzor gestikulacije, 2) senzor blizine, 3) žiroskop, 4) akcelerometar, 5) geomagnetski senzor, 6) temperatura/vlažnost, 7) barometar, 8) senzor poklopca, 9) RGB senzor (intenzitet izvora svetla). A već u narednom modelu, Galaxy S5, dodati su još dva: 10) senzor brzine otkucaja srca i 11) senzor otiska prsta.

Velika komercijalna primena aplikacija koje koriste prepoznavanje fizičke aktivnosti dovela je i do sve većeg broja istraživača koji se bave razvojem u ovoj oblasti, pa ujedno i do pojave tj. objavljivanja prvih javno dostupnih baza uzoraka za ove namene, [4]–[6].

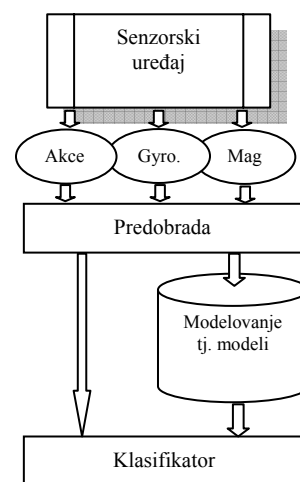
U ovom radu ispitivani su signali tri vrste senzora: a) akcelerometar (A), b) žiroskop (G) i c) geomagnetski senzor (M). Korišćeno je sedam senzora koji su postavljeni na različite delove tela. Tačnije, ispitivani su signali dobijeni od sedam senzora koji su postavljeni na tri različita dela tela. Prikupljeni signali su zatim transformisani u jedanaest obeležja pogodnih za proces statističkog prepoznavanja. Na kraju je izvršeno automatsko prepoznavanje fizičkih aktivnosti na osnovu statističkih modela formiranih za svaku vrstu fizičke aktivnosti. S obzirom na relativno mali skup uzoraka i broj razmatranih

obeležja, dobijeni rezultati istraživanja daju dobru početnu procenu optimalnih obeležja akcelerometra, magnetometra i žiroskopa i očekivane tačnosti prepoznavanja za određene aplikacije.

II. OBRADA SIGNALA

Blok dijagram obrade signala je prikazan na Sl. 1. Senzorski signali se najpre prikupljaju, a zatim, u delu za predobradu, transformišu u vektore obeležja koji su pogodniji za dalju obradu. U daljoj obradi se vektori obeležja koriste u dve odvojene faze: (i) u fazi obučavanja – za modelovanje, odnosno (ii) u fazi testiranja – za odlučivanje.

Od svakog senzora prikupljaju se tri signala duž svake od osa koordinatnog sistema. Koordinatni sistem senzora je isti kao i standardni koordinatni sistem telefona. Akcelerometar meri ubrzanje duž x, y, z osa. S obzirom na stalno prisutno ubrzanje gravitacione sile, obavezno se primenjuje jedan niskopropusni filter sa graničnom učestanošću od 0.25Hz. Žiroskop daje vrednost ugaone brzine tj. brzine rotacije oko osa senzora, a vrednost je iskazana u jedinicama rad/s. Sama jedinica koja se koristi nije od značaja u statističkom prepoznavanju jer se u fazi predobrade obavezno vrši normalizacija svih vrednosti. Geomagnetski senzor daje podatke orijentacije senzora u odnosu na geomagnetsko polje.



Slika 1. Blok dijagram obrade podataka

TABELA I. STATISTIČKA OBELEŽJA

Obeležje	Opis
Avg	Srednja vrednost na prozoru
Std	Standardna devijacija na prozoru
Skewness	$SK = \frac{E(x-\mu)^3}{\sigma^3}$
Kurtosis	$K = \frac{E(x-\mu)^4}{\sigma^4}$
Min	Minimalne vrednosti na prozoru
Max	Maksimalne vrednosti na prozoru
Cep	$\text{iff}(\log(\text{abs}(\text{fft}(\text{signal}))))$ Prvih 5 kepstalnih koeficijenta

Izbor statističkih obeležja za detekciju fizičke aktivnosti na osnovu signala razmatranih senzora je urađen na osnovu publikovanih istraživanja, [1]-[9]. Polazani skup odabranih jedanaest obeležja je prikazan u Tabeli I.

U delu za predobradu senzorski signali se filtriraju, a zatim formiraju okvire određene dužine sa obaveznom preklapanjima na kojima se vrši izračunavanje svih obeležja prema Tabeli I. Okviri se preklapaju, obično na pola, kako bi se smanjila mogućnost da se neke značajne promene na okviru ne obuhvate.

III. IZBOR OBELEŽJA

Izbor obeležja predstavlja postupak odabira optimalnog podskupa obeležja kako bi određeno prepoznavanje bilo najbolje. Takođe, ako je početni skup obeležja veliki u odnosu na bazu uzoraka izborom obeležja se može značajno povećati robustnost prepoznavanja. Kada se radi detekcija određene aktivnosti, neka obeležja sadrže redundantne informacije ili ih uopšte ne sadrže pa je važno izvršiti adekvatan izbor. Selekcijom obeležja mogu i da se pojednostave modeli, samo prepoznavanje učini efikasnijim kako pri dugotrajnom treniranju tako i pri testiranju, odnosno eksploataciji, [10], [11].

Optimalne metode izbora su obično u praksi neizvodljive zbog suviše kompleksnosti. Umesto njih najčešće se koriste neke suboptimalne tehnike primenom gramzivih algoritama. U ovom radu je urađena analiza izbora obeležja primenom jedne od metoda – sekvencijalnom pretragom unapred (*SFS* – engl. *Sequential Forward Selection*). Postupak je iterativni. U svakom koraku se bira najbolja karakteristika prema odgovarajućem kriterijumu, a polazi se od praznog skupa. Kao kriterijum može da se uzima tačnost klasifikacije ili Fišerov koeficijent diskriminacije – *FDR*.

$$FDR = \frac{(m_1 - m_2)^2}{\sigma_1^2 - \sigma_2^2} \quad (1)$$

IV. BAZA UZORAKA *mHEALTH*

U svrhu ispitivanja korišćena je baza uzoraka *mHealth*, [4]. Skup uzoraka sastoji se od snimljenih signala sa sedam senzora

TABELA II. FIZIČKE AKTIVNOSTI

Oznaka	Opis	
Akt 1	Mirno stajanje	1 min
Akt 2	Sedenje i opuštanje	1 min
Akt 3	Ležanje	1 min
Akt 4	Hodanje	1 min
Akt 5	Penjanje uz stepenice	1 min
Akt 6	Savijanje napred u struku	20x
Akt 7	Podizanje ruku ispred	20x
Akt 8	Savijanje kolena	20x
Akt 9	Vožnja biciklom	1 min
Akt 10	Džogiranje	1 min
Akt 11	Trčanje	1 min
Akt 12	Skakanje napred i nazad	20x

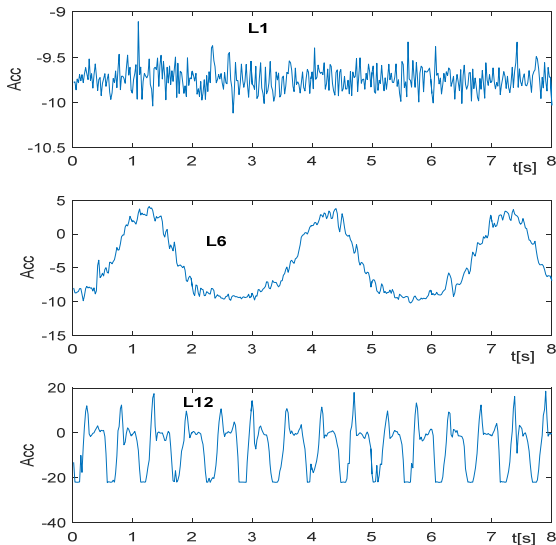
pri različitim fizičkim aktivnostima, Tabela II. Uzorci su dobijeni od deset različitih osoba različitog profila prilikom obavljanja dvanaest fizičkih aktivnosti. Senzori su postavljeni na: grudima, levom članku i desnoj podlaktici, na način opisan u Tabeli III. Svi signali su dobijeni odmeravanjem 50 Hz.

Na Sl. 2. prikazan je vremenski oblik akcelerometra pozicioniranog na grudima za tri potpuno različite aktivnosti, Akt 1, Akt 6 odnosno Akt 12. Nasuprot ovim aktivnostima neke aktivnosti daju veoma slične signale senzora poput džogiranja i trčanja, odnosno poput mirnog stajanja, sedenja i ležanja. Za ovakve aktivnosti se može očekivati uzajamno značajno manja tačnost prepoznavanja tj. značajno veći broj kolizija.

Zato je u svakom konkretnom praktičnom slučaju potrebno svesti prepoznavanje na tačno traženi skup aktivnosti i u odnosu na taj skup odabrati optimalna obeležja, a po mogućnosti i odrediti položaj senzora. Početni skup od 11 različitih statističkih obeležja iz Tabele I, znači da će za 7 senzora i 3 ose po senzoru biti formirano ukupno $11 \times 7 \times 3 = 231$ obeležja. Treba istaći da se može koristiti samo amplituda signala umesto sve tri komponente. Ovaj pristup daje veću sigurnost u slučaju nepoznavanja pozicije senzora, ali se istovremeno i gubi podatak o eventualnom kretanju duž neke ose u odnosu na ostale.

TABELA III. POZICIJE SENZORA

Pozicija	Senzor
Na grudima	Akcelerometar
Na levom članku	Akcelerometar
	Žiroskop Magnetometar
Na desnoj podlaktici	Akcelerometar
	Žiroskop Magnetometar



Slika 2. Vremenski oblik signala akcelerometra pozicioniranog na grudima za prvu osobu i za tri aktivnosti Akt 1, Akt 6 i Akt 12

V. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Obeležja su formirana na okvirima trajanja 2 sek. odnosno u našem slučaju okviri su dužine 100 odmeraka sa preklapanjem na pola. Kao što smo već napomenuli, mada se senzorski signali dobijeni po 3 ose obično zamenjuju sa amplitudama, početno ispitivanje je urađeno ipak za svaku osu posebno. Razlog je veoma velika sličnost pojedinih aktivnosti, kao na primer: mirno stajanje i ležanje gde ovakvo razdvajanje signala po osama ima značaja. Pošto je korišćeno 7 senzora, po jednom frejmu je generisano ukupno 231 različitih obeležja.

Zbog velikog broja obeležja, a istovremeno zbog relativno male baze za obučavanje, urađeno je izdvajanje skupa obeležja pomoću *SFS* pretrage. Test je rađen tako što se za svaku fizičku aktivnost definiše najbolji skup u odnosu na sve ostale aktivnosti zajedno.

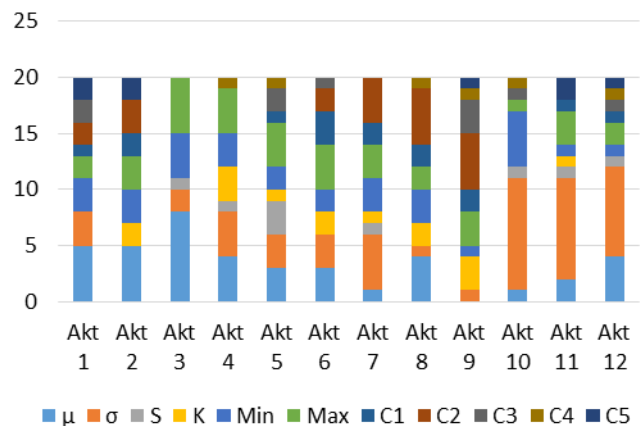
Izbor je urađen koristeći *SFS* metodu pretrage. Pretraga je urađena za 20 najboljih karakteristika po vrsti obeležja primenjujući FDR kriterijum jedne fizičke aktivnosti u odnosu na sve preostale.

Zbog prevelike dimenzije tebele (231x231), prikaz je modifikovan tako da su rezultati grupisani. U redovima tabela su fizičke aktivnosti, a u kolonama obeležje. Vrednost u ćeliji je broj pojavljivanja obeležja ili senzora u skupu od najboljih. Pri tome je urađeno sabiranje onih obeležja ukoliko ih ima više u istoj grupi.

U Tabeli IV. je prikazano koliko se puta u skupu 20 najboljih nalazi određeno obeležje za neku aktivnost. Isti podaci su grafički prikazani na Sl. 3.

TABELA IV. MATRICA NAJBOLJIH OBELEŽJA

	μ	σ	S	K	Min	Max	C1	C2	C3	C4	C5
Akt 1	5	3	0	0	3	2	1	2	2	0	2
Akt 2	5	0	0	2	3	3	2	3	0	0	2
Akt 3	8	2	1	0	4	5	0	0	0	0	0
Akt 4	4	4	1	3	3	4	0	0	0	1	0
Akt 5	3	3	3	1	2	4	1	0	2	1	0
Akt 6	3	3	0	2	2	4	3	2	1	0	0
Akt 7	1	5	1	1	3	3	2	4	0	0	0
Akt 8	4	1	0	2	3	2	2	5	0	1	0
Akt 9	0	1	0	3	1	3	2	5	3	1	1
Akt 10	1	10	1	0	5	1	0	0	1	1	0
Akt 11	2	9	1	1	1	3	1	0	0	0	2
Akt 12	4	8	1	0	1	2	1	0	1	1	1



Slika 3. Udeo vrste obeležja u skupu najboljih 20 po vrsti fizičke aktivnosti

TABELA V. TAČNOST DETEKCIJE POJEDINAČNE AKTIVNOSTI

Akt	k-NN
Akt 1	97.31
Akt 2	97.32
Akt 3	97.54
Akt 4	97.34
Akt 5	98.46
Akt 6	98.35
Akt 7	98.54
Akt 8	98.76
Akt 9	98.84
Akt 10	99.31
Akt 11	99.42
Akt 12	100.00

Na kraju je izvršeno testiranje, rezultati su dati u Tabeli V. Za test je korišćen k-NN klasifikator sa tri centroida. Svi testovi su urađeni tako što je testirano prepoznavanje jedne aktivnosti u odnosu na sve ostale. Pri treningu i testiranju su korišćeni odvojeni skupovi podataka, tj. korišćena je krosvalidacija.

VI. ZAKLJUČAK

U radu je obrađen jedan postupak prepoznavanja fizičkih aktivnosti zasnovan na senzorskim signalima mobilnih uređaja akcelerometra, žiroskopa i magnetometra.

Ispitivanje prepoznavanja je urađeno na osnovu 11 obeležja i pomoću nekoliko različitih senzora. U postupku prepoznavanja je izvršena i analiza izbora obeležja kao i samo testiranje detekcije.

Dobijeni rezultati pokazuju vrlo visok procenat prepoznavanja jedne aktivnosti, od 89% pa do 100%. Međutim, ovi rezultati ne bi trebalo da zavaraju. U slučaju da je potrebno razdvojiti slične aktivnosti, na primer mirno stajanje i sedenje, tačnost bi bila značajno manja. Takođe, otežavajuća okolnost je što u praktičnoj primeni, mobilni telefon koji bi mogao da bude korišćen za detekciju, je jedan uređaj na poziciji koja ne mora biti predviđena ovim eksperimentom.

I pored realnih nedostataka ove baze uzoraka dobijeni rezultati pokazuju da je detekcija fizičkih aktivnosti zasnovana na razmatranim senzorima u praksi ostvarljiva i to sa prilično tačnosi. U nastavku istraživanja bi svakako trebalo uraditi slična istraživanja sa još nekom bazom uzoraka, detaljnije analizirati selekciju obeležja i primeniti neki od drugih statističkih metoda.

LITERATURA

- [1] J. W. Lockhart, T. Pulickal, G. M. Weiss, "Applications of Mobile Activity Recognition," Proceeding UbiComp '12 Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing Pages 1054-1058
- [2] J. R. Kwapisz, G. M. Weiss, S. A. Moore, Activity recognition using cell phone accelerometers, ACM SIGKDD Explorations Newsletter archive Volume 12 Issue 2, December 2010 Pages 74-82
- [3] I. Bisio, F. Lavagetto, M. Marchese, A. Sciarone, „A smartphone-centric platform for remote health monitoring of heart failure," International Journal of Communication Systems Int. J. Commun. Syst.

(2014) Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com).

- [4] O. Banos, R. Garcia, J. A. Holgado-Terriza, M. Damas, H. Pomares, I. Rojas, A. Saez, and C. Villalonga, "mhealthroid: A novel framework for agile development of mobile health applications," Ambient Assisted Living and Daily Activities. Springer, 2014, 91–98.
- [5] K. Altun, B. Barshan, O. Tunc, "Comparative study on classifying human activities with miniature inertial and magnetic sensors," Pattern Recognition 43, 10 (2010), 3605–3620.
- [6] O. Banos, M. Damas, H. Pomares, I. Rojas, M.A. T'oth, O.A. Amft, "Benchmark dataset to evaluate sensor displacement in activity recognition," ACM Conference on Ubiquitous Computing, ACM (2012), 1026–1035.
- [7] M. Li, V. Rozgić, G. Thatte, S. Lee, A. Emken, M. Annavam, et. „Multimodal Physical Activity Recognition by Fusing Temporal and Cepstral Information," IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2010 August ; 18(4): 369–380
- [8] J. Pärkkä, "Analysis of Personal Health Monitoring Data for Physical Activity Recognition and Assessment of Energy Expenditure, Mental Load and Stress", Thesis for degree of Doctor of Technology, June 2011.
- [9] M. Shardlow, "An analysis of feature selection techniques", <https://studentnet.cs.manchester.ac.uk/pgt/COMP61011/goodProjects/Shardlow.pdf/> datum pristupa 2.2.2016.
- [10] Yi He and Ye Li , Physical Activity Recognition Utilizing the Built-In Kinematic Sensors of a Smartphone, International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2013 (2013), Article ID 481580, 10 pages
- [11] I. Guyon, A. Elisseeff, „An Introduction to Variable and Feature Selection", Journal of Machine Learning Research 3 (2003) 1157-1182

ABSTRACT

This paper presents part of the research in the field of detection of physical activity. Detection is based on signals from accelerometers, gyroscopes and magnetometers. We used public database of samples – mHealth. Tests were carried out in eleven characteristic features. In this study is made the selection and testing of detection. All tests were done with previous cross-validation.

PHYSICAL ACTIVITY DETECTION USING ACCELEROMETER, GYROSCOPE AND MAGNETOMETER

Zoran Ćirović, Aleksandar Simović