

Nova metoda za prepoznavanje aktivnosti ljudi zasnovana na IMU senzorima i na teoriji digitalne obrade govora

Nikola Cakić^{1,2}, Milica Cakić^{1,2}, Srđan Milosavljević¹, Aleksandar Žigic¹

¹ Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Univerzitet u Beogradu, Koste Glavinića 8A, 11000 Beograd, Srbija
nicolacacic@ieent.org

² Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija

Kratak sadržaj: U radu je prezentovana nova metoda za prepoznavanje aktivnosti ljudi (HAR). U današnje vreme najveći delovi HAR sistema se oslanjaju na inercijalne IMU senzore podesne za nošenje. Najzastupljeniji IMU senzori su akcelerometar i žiroskop. Pomenuti senzori su široko rasprostranjeni u mobilnim uređajima kao što su pametni telefoni ili pametni satovi. Autori obično koriste karakteristične vrednosti signala u realnom vremenu kao ulaze u klasifikator računajući ih samo pomoću sliding prozora. Ovaj rad predlaže novu metodu zasnovanu na speech-silence diskriminacionoj tehnici za detektovanje početka i kraja određene aktivnosti. Predstavljena metoda se oslanja na kratkotrajni logaritam energije (STLE) i kumulativnu sumu ugla STLE. Metoda je testirana na dve slične fizičke vežbe: čučanj i podizanje kolena. Ovaj algoritam obezbeđuje pre klasifikacionu preciznost od 41,2%, samo na osnovu precizne detekcije dužine pojedinih stanja vežbe (start, srednji i krajnji položaj). Predložena metoda smanjuje kompleksnost, klasifikovajući aktivnosti samo kada se detektuju (ne klasifikujući pauze između aktivnosti).

Ključne reči: Prepoznavanje aktivnosti ljudi, kratkotrajni logaritam energije, kumulativna suma, detekcija stanja aktivnosti, IMU senzori, fizičke vežbe.

1. Uvod

Razvoj tehnika za povećanje preciznosti prepoznavanja aktivnosti unutar HAR sistema je od velikog značaja. Glavni pravci razvoja HAR sistema su: monitoring zdravlja ljudi, pomaganje starijim osobama u trenucima nemoći (detektovanje pada, dužeg nepomeranja...), motivaciju osoba da više vežbaju

na osnovu određenih programa za mršavljenje ili povećanje fizičke spremne, itd [1].

Kako su pametni telefoni postali nezamenljivi u modernom društvu brzih komunikacija, ovaj rad predlaže metodu za HAR sistem zasnovanu samo na pametnom telefonu i na njegovim ugrađenim sensorima (akcelerometru i žiroskopu), bez ikakvih dodatnih senzora podesnih za nošenje. Pametni telefon je fiksiran za nogu (srednja pozicija između kuka i kolena) pomoću modifikovanog sportskog armband-a. Brzina smplovanja signala je 10 mS. Detekcija aktivnosti se obavlja na pametnom telefonu u realnom vremenu.

Tehnika izvlačenja karakterističnih veličina koje opisuju signal koji nosi informaciju o odrađenoj fizičkoj aktivnosti, u HAR sistemima koji se baziraju na IMU sensorima koristi samo metodu sliding prozora. Signal se obično deli na prozore sa fiksnom periodom [2]. Napredniji pristup koristi sliding prozore sa preklapanjem [3]. Kod ovog pristupa potrebno je unapred definisati procenat preklapanja prozora koji tokom detekcije ostaje fiksiran. Pristup koji dovodi do najpreciznijeg prepoznavanja aktivnosti koristi adaptivne sliding prozore [4]. Veličina prozora je jedna od najbitnijih stavki jer pre uzak prozor neće nositi informaciju o željenoj aktivnosti. Sa druge strane preširok prozor će dovesti do bespotrebnog dodatnog računanja kao i grešaka i kašnjenja prilikom donošenja odluke o obavljenoj aktivnosti [5]. Svi pomenuti pristupi klasifikuju takođe i pauzu između aktivnosti, iz razloga što ne mogu da detektuju početak i kraj obavljene aktivnosti.

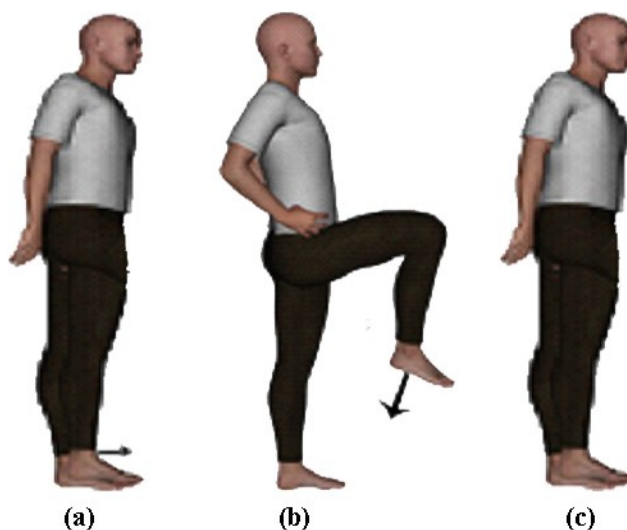
Autori su se fokusirali na fizičke vežbe koje mogu da rade različite starosne grupacije. Glavni cilj je pomoći ljudima koji žele da poboljšaju svoj kardio ili da obavljaju medicinske vežbe, animirajući ih da treniraju više i ohrabrujući njihov takmičarski duh pomoću trendova napretka. Podaci o prikupljenim vežbama mogu da doprinesu optimalnoj potrošnji ljudskog tela, u planiranju vremena vežbanja i odmaranja, kao i u proceni rizika prilikom obavljanja određenih fizičkih vežbi [6].

Da bi se verifikovala predložena metoda kao test su poslužile dve slične fizičke aktivnosti: čučanj i podizanje kolena. Ove dve vežbe u 3D prostoru prave sličan pomeraj telefona i očitavanja maksimalnog ubrzanja mogu biti skoro identična. Međutim ono što može da ih razlikuje je vreme koje je potrebno da se uradi vežba. Svako od pet vežbača je uradio po pedeset ponavljanja obe vežbe. Svaka vežba se može podeliti u tri stanja: 1) start vežbe – odlazak u među položaj (udah), 2) među položaj – kratka pauza u toku vežbe, 3) kraj vežbe – vraćanje u početni položaj (izdah). Ukoliko se vežba radi pravilno vektori ubrzanja iz stanja 1 i 3 mogu biti iste dužine. Ukoliko se zna trajanje svakog od pojedinih stanja moguće je obaviti pre klasifikaciju vežbi sa preciznošću od 41.2%, samo na osnovu dužine svakog stanja. Predložena metoda smanjuje kompleksnost prepoznavanja aktivnosti jer može da klasifikuje samo aktivnosti kada se dese a ne pauzu između njih koja ne nosi nikakvu informaciju od interesa. Algoritam je razvijen u Android Studio razvojnom okruženju pomoću Java programskog jezika. Implementacija je obavljena na Samsung pametnom telefonu na kome se nalazi Android operativni sistem. Perioda odabiranja prilikom smplovanja ulaznog signala

iznosi 10 mS.

2. Predložena metoda

Slikom 1 je predstavljena vežba podizanje kolena podeljena na tri stanja. Vežbač započinje vežbu i iz početnog položaja kreće u među položaj a zatim se vraća u krajnji položaj (ukupno tri stanja).



Slika 1: Stanja u toku fizičke vežbe: a) start; b) među položaj; c) kraj.

U speech-silence diskriminacionoj tehnici od suštinskog je značaja locirati regione govornog signala u želji da se izbegne klasifikacija pozadinskih zvukova kao validnih govornih ulaza. Predložena metoda pokazuje kako se može koristiti pomenuta modifikovana tehnika za prepoznavanje aktivnosti ljudi. Gravitaciona sila uvek ima uticaj na merenje ubrzanja u 3D prostoru. Ako se od osnovnog sirovih merenja ubrzanja oduzme gravitacioni vektor dobija se linearno ubrzanje na koje gravitacija nema uticaj.

Metoda se sastoji od nekoliko koraka:

1. Uklanjanje gravitacionog vektora iz vektora ubrzanja
2. Računanje intenziteta linearnog ubrzanja
3. Računanje kratkotrajnih logaritama energije signala (STLE)
4. Računanje kumulativne sume STLE signala
5. Računanje ugla dobijenog signala. Ugao se računa na svakih 30 mS.
6. Postavljanje granica nad dobijenim uglovima kako bi se mogao odrediti

presek između pojedinih stanja vežbe.

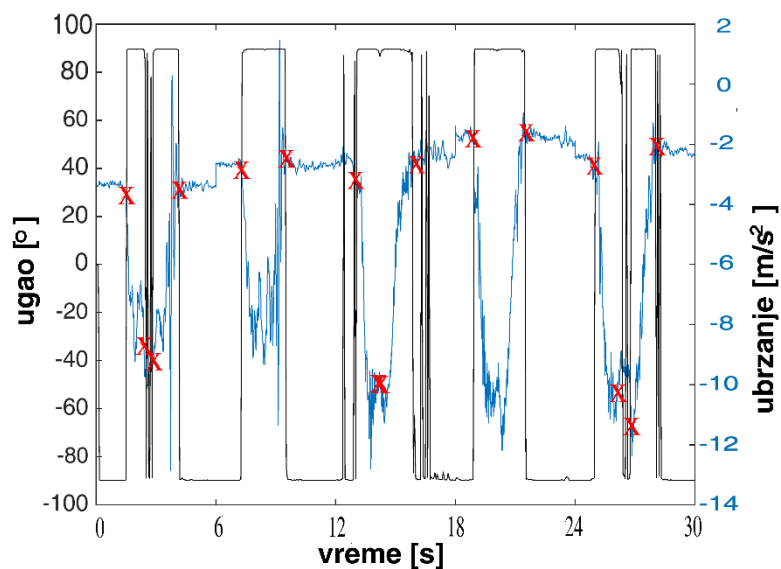
7. Korišćenje detekcionog algoritma (koji će biti predstavljen u sledećem poglavlju) za precizno određivanje pauze između aktivnosti, početka vežbe, među položajima i kraja vežbe.

STLE signal je:

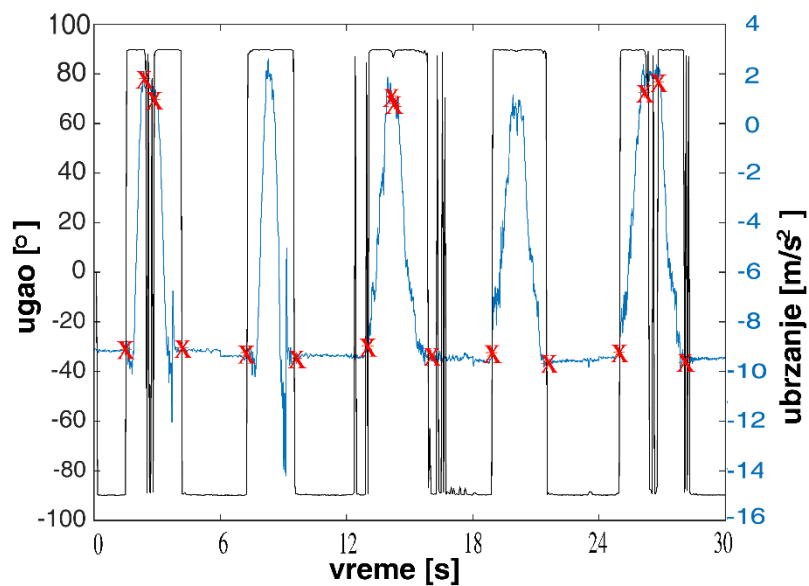
$$\hat{E}_n = \log E_n = 10 \log_{10} \left(\sum_{m=0}^{m=2} (x[n+m]w[m])^2 \right) \quad (1)$$

Gde je \hat{E}_n energija računata korišćenjem Hamingovog prozora od 30 mS a $w[m]$ predstavlja Hamingov prozor.

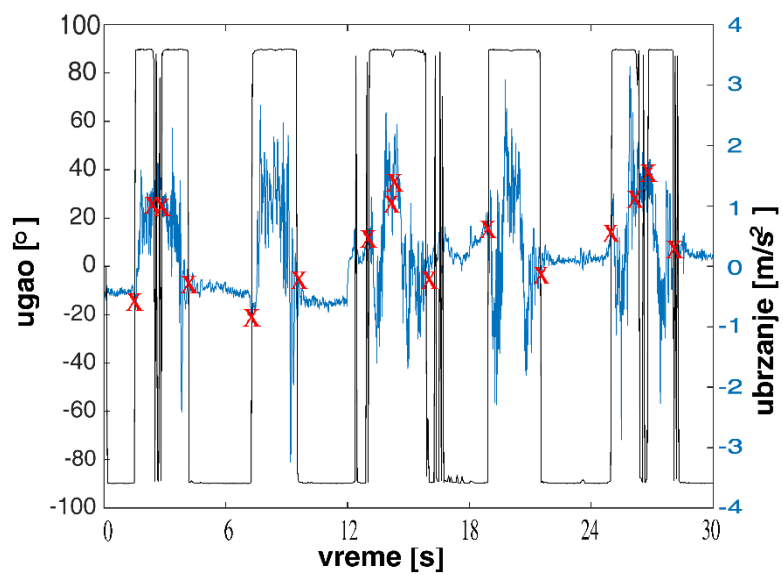
Na Slici 2, Slici 3 i Slici 4 se mogu videti pet ponavljanja u XYZ prostoru, respektivno. Dva podizanja kolena i tri čučnja. Crna linija predstavlja izračunate uglove signala, dok plava linija predstavlja signal akcelerometra. Ugao signala se računa pomoću izvoda u tri tačke.



Slika 2: Uglovi signala i mereno ubrzanje (X osa).



Slika 3: Uglovi signala i mereno ubrzanje (Y osa).



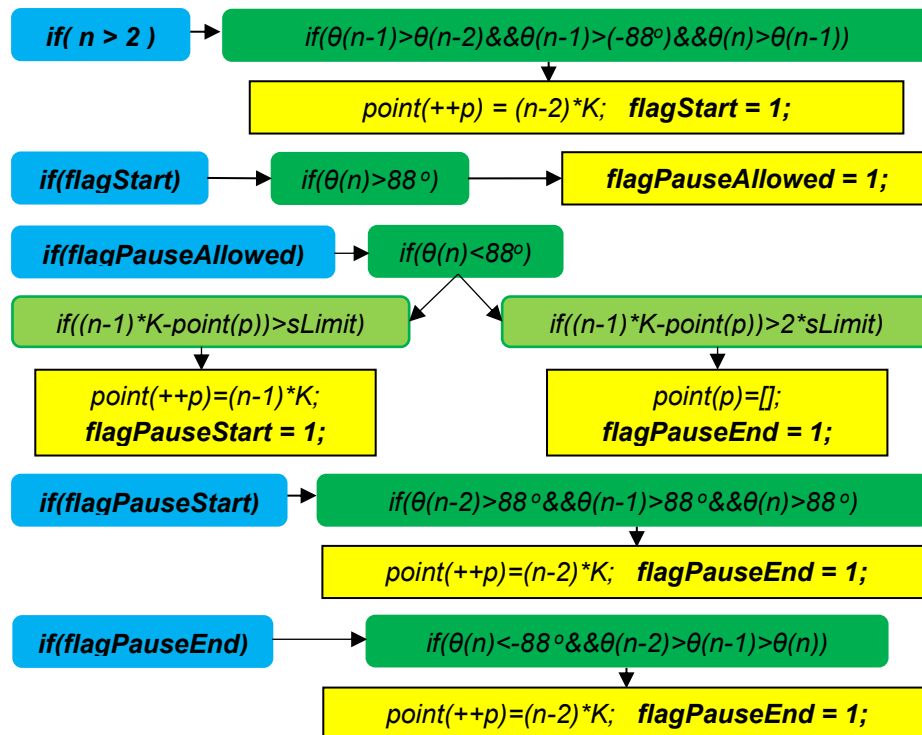
Slika 4: Uglovi signala i mereno ubrzanje (Z osa).

Kako detekcioni algoritam računa svaku početnu i krajnju tačku svakog od tri stanja vežbe, moguće je klasifikovati aktivnosti samo na osnovu dužine

pojedinih stanja. Na primer, posmatrajući Sliku 3, trajanje sva tri stanja prvog ponavljanja (vežba podizanje kolena) i četvrtog ponavljanja (vežba čučanj) su 2.7 s i 2.64 s, respektivno. Sa druge strane ako se ukloni stanje među položaj (kratka pauza u toku vežbe), trajanje vežbe podizanje kolena je samo 2.22 s. Ovaj primer podržava generalnu tvrdnju da vežba podizanje kolena traje kraće od vežbe čučanj.

3. Detekcioni algoritam

Kada aplikacija startuje, algoritam koristi prva dva sempla kao memoriju. Na trećem semplu algoritam kreće da računa ugao. Sledećom slikom je prikazana logika detekcionog algoritma.



Slika 5. Detekcioni algoritam

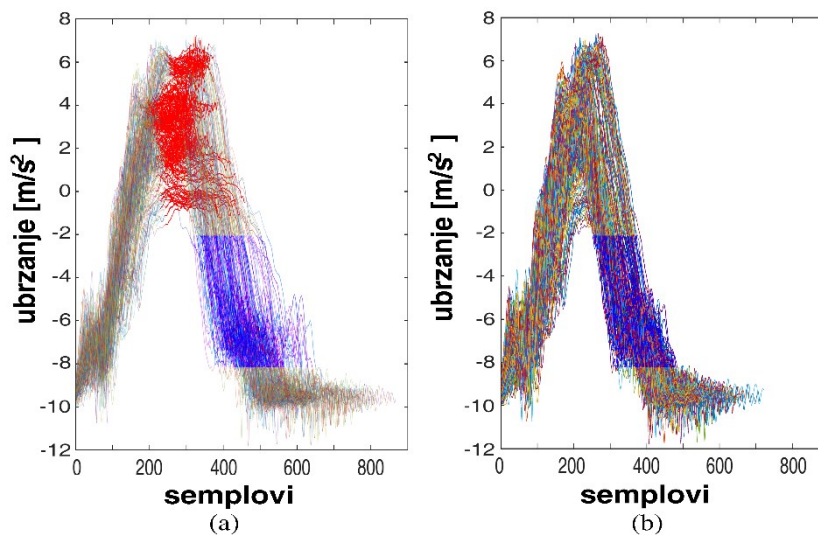
Na slici 5, n predstavlja broj sempla, θ je izračunat ugao u stepenima, K je 3 (širina Hamingovog prozora), tačka p je bafer koji sadrži granične tačke pojedinih stanja. Tokom neaktivnosti ugao je -90° . Porast ugla samo za 1% indikuje da je započeta aktivnost. Iz sigurnosnih razloga usvojena je granica od 2%. Na osnovu te promene θ od 2% definisane su dve granice $\theta_1(-88.2^\circ)$ i

$\theta_2(88.2^\circ)$. Za detektovanje početka i kraja aktivnosti limit je θ_1 . Kada detekcioni algoritam detektuje početak vežbe i ugao poraste iznad granice θ_2 , flagPauseAllowed će biti setovan. U prvom stanju (kretanje ka među položaju) računati ugao će biti iznad granice θ_2 . Kada ugao padne ispod granice θ_2 , flagPauseStart će biti setovan. Kada ugao poraste ponovo θ_2 , flagPauseEnd će biti setovan. Na kraju kada ugao padne ispod θ_1 , algoritam detektuje kraj vežbe.

Definisani su i minimalni limit stanja (sLimit) od 500ms. Neophodno je definisati ovaj parametar jer nepravilno vežbanje može da dovede da ne postoji drugo stanje. Postojanje drugog stanja se nameće prilikom korišćenja pravilne disajne tehnike tokom vežbanja.

Dva početna memorijska sempla su ključna prilikom praćenja ugla u tri tačke. Postojanje ove memorije omogućava detekcionom algoritmu da izađe na kraj sa problemima kao što su lažni start vežbe (Slika 3 treće ponavljanje) i kratki pomeraji prilikom završetka vežbe (Slika 3 treće i peto ponavljanje). Kada se detektuje kraj vežbe, kratki pomeraji mogu da ukažu da je osoba koja vežba umorna (podrtavanje mišića). Ukoliko vežbač prebrzo nepravilno vežba algoritam detektuje samo dva stanja (Slika 3 drugo ponavljanje).

Slika 6 predstavlja 250 ponavljanja (5 vežbača po 50 ponavljanja) vežbe čučanj po Y osi. Leva strana Slike predstavlja vežbu tokom sva tri stanja (uključujući i pauzu u među položaju – crvena linija). Na desnoj strani slike se može videti vežba ukoliko se uklone pauze u među položaju. Na slici plavom bojom je pokazano da ukoliko se ukloni pauza da su stanja jedan i tri skoro identična samo suprotnog smera, što ide u prilog činjenici da vežbač pređe isti put od i ka među položaju.



Slika 6: Vežba čučanj – 250 ponavljanja (Y osa).
 (a) stanja 1, 2 i 3 – pauza u među položaju (crvena linija).
 (b) stanje 1 i stanje 3 – bez pauze.

4. Zaključak

Metoda za lociranje početka i kraja odrađene aktivnosti eliminiše veliki broj proračuna, na taj način što omogućava procesiranje samo delova signala akcelerometra koji odgovara samo fizičkoj aktivnosti. Poznavanjem trajanja određenih stanja u toku aktivnosti moguće je jednostavno izvršiti pre klasifikaciju aktivnosti samo na osnovu logičkog znanja o trajanju pojedinih stanja u toku vežbe. Predložena metoda daje mogućnost prepoznavanja dve slične vežbe sa preciznošću od čak 41.2%. Pod terminom slične se misli na vežbe koje imaju isti pomeraj u 3D prostoru samo se trajanje razlikuje. Treba napomenuti da je algoritam takođe primenljiv na aktivnosti čiji se intenzitet i/ili trajanje više razlikuju. Pre klasifikacija vežbi na osnovu trajanja pojedinih stanja otvara mogućnost da se iz skupa ponavljanja određene vežbe uklone ponavljanja koja nisu završena ili koja su prebrzo ili predugo trajala. Ovom pre klasifikacijom se stvara skup ponavljanja karakterističan za svakog vežbača. Izolovanje svih pauza tokom vežbanja može da u velikoj meri smanji skup za obuku klasifikatora i da poveća njihovu preciznost. Informacija o stanjima može da bude ključna za donošenje odluke da li je vežbač pravilno odradio vežbu ili ne. Ova metoda omogućava ne samo prepoznavanje dijametralno različitih fizičkih aktivnosti već i da li je određena fizička aktivnost pravilno odrađena.

Literatura

- [1] V. Bonnet, V. Joukov, D. Kulić, P. Fraisse, N. Ramdani, and G. Venture: „Monitoring of Hip and Knee Joint Angles Using a Single Inertial Measurement Unit During Lower Limb Rehabilitation“, *IEEE Sensors Journal*, 2016, 16, (6), pp. 1557-1564.
- [2] D. Tao, L. Jin, Y. Yuan, and Y. Xue: „Ensemble Manifold Rank Preserving for Acceleration-Based Human Activity Recognition“, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2016, 27, (6), pp. 1392-1404.
- [3] O. Yurur, C. H. Liu, and W. Moreno: „Unsupervised posture detection by smartphone accelerometer“, *Electronics Letters*, 2013, 49, (8), pp. 562-564.
- [4] H. El-Shazly, M.M. Abdelwahab, A. Shimada, and R. Taniguchi: „Early gesture recognition with adaptive window selection employing canonical correlation analysis for gaming“, *Electronics Letters*, 2016, 52, (16), pp. 1379-1381.
- [5] O. Yurur, C.H. Liu, Z. Sheng, V.C.M. Leung, W. Moreno, and K.K. Leung: „Context-Awareness for Mobile Sensing: A Survey and Future Directions“, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2016, 18, (1), pp. 68-93.
- [6] E. Toth-Laufer, and A. R. Varkonyi-Koczy: „A Soft ComputingBased Hierarchical Sport Activity Risk Level Calculation Model for Supporting

Home Exercises“, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2014, 63, (6), pp. 1400-1411.

Abstract: : This paper presents a new method for human activity recognition (HAR). Nowadays the biggest parts of HAR systems are relying on wearable IMU (inertial measurement unit) sensors. The common IMU sensors are accelerometers and gyroscopes. These sensors are widespread in mobile devices such as smartphones and smart watches. Authors usually use real time signal features as inputs for classifiers that are calculated using sliding windows only. This paper proposes a new method based on speech-silence discrimination technique for detecting the beginning and the end of an activity. The presented method relies on short-time log energy (STLE) and cumulative sum of angle of STLE values. The method was tested on two similar physical activities: squat and knee raise. This algorithm provides a 41.2% pre-classification accuracy, by precise detection of the length of individual exercise states (start, intermediate, and finish position) only. The proposed method reduces complexity, classifying only activities when they are detected (not classifying pause between activities).

Keywords: human activity recognition, short-time log energy, cumulative sum, activity state detection, IMU sensors, physical exercises.

New Method for Human Activity Recognition Based on IMU Sensors and Digital Speech Processing Theory

Nikola Cakić, Milica Cakić, Srđan Milosavljević, Aleksandar Žigić

Rad primljen u uredništvo: 20.11.2018. godine

Rad prihvaćen: 04.12.2018. godine