

UREĐAJ ZA DETEKCIJU PADOVA ZASNOVAN NA AKCELEROMETRU, ŽIROSKOPU, GPS MODULU I MODELU MAŠINSKOG UČENJA**FALL DETECTION DEVICE BASED ON ACCELEROMETER, GYROSCOPE, GPS MODULE, AND MACHINE LEARNING MODEL**Sanja Mandić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu opisan je sistem za detekciju pada, čiji je cilj pomoć starim i nemoćnim licima. U radu je dat detaljan uvid u sve delove realizovanog sistema za detekciju pada, kroz opis: hardverskih komponenti i prototipa uređaja, zatim izrade samog uređaja, programiranja mikrokontrolera za datu namenu, realizacije korisničkog interfejsa, formiranja baze podataka, kao i obuke modela mašinskog učenja zasnovanih na različitim algoritmima.

Ključne reči: Detekcija pada, Mikrokontroler, GPS, Akcelerometar, Žiroskop, Klasifikacija

Abstract – In this paper, a fall detection system, whose main purpose is assistance to the elderly, is described. The paper gives an insight into all parts of the implemented fall detection system, by describing hardware components and device prototype, device design, and implementation, programming of the microcontroller for this purpose, creating the user interface, forming a database, and training different classification models.

Keywords: Fall detection, Microcontroller, GPS, Accelerometer, Gyroscope, Classification

1. UVOD

Istraživanja su pokazala da jedna trećina populacije starije od 65 godina doživi pad jednom ili više puta godišnje. Učestali padovi kod starijih osoba uslovljeni su nizom fizičkih i kognitivnih promena koje su posledice procesa starenja. Faktore koji doprinose čestim pojavama padova starijih lica moguće je podeliti u dve grupe: **spoljašnji faktori**, koji podrazumevaju uslove sredine, i **unutrašnji faktori**, koji se odnose na posledice procesa starenja (oštećenja kognitivnih funkcija, čula vida, bolesti, upotreba lekova itd.).

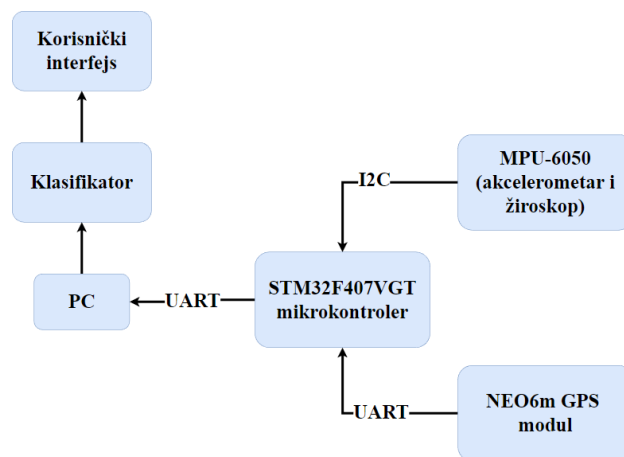
Padovi mogu da dovedu do niza različitih povreda, ali i do straha od ponovnog pada, što značajno ograničava mobilnost starijih osoba. Neke od posledica koje padovi mogu imati kod starijih osoba jesu: prelomi kostiju ruke, kuka, butne kosti, povrede skočnog i ručnog zgloba, povrede glave, kičmenog stuba i/ili kičmene moždine, kao i različite ogrebotine i posekotine [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Platon Sovilj, red. prof.

Ukoliko se osobi nakon pada ne pruži adekvatna medicinska pomoć, povećava se rizik od nastanka različitih komplikacija i pogoršanja zdravstvenog stanja. Posledice koje padovi mogu imati, kao i potreba za pravovremenim pružanjem medicinske pomoći, podstakle su niz različitih istraživanja iz oblasti uređaja za detekciju pada. Uređaji za praćenje kretanja i detekciju padova koji danas postoje mogu se podeliti na prenosive uređaje, uređaje zasnovane na kamerama i uređaje zasnovane na senzorima u ambijentu [2].

Ideja ovog rada jeste upravo izrada jednog prenosivog uređaja za detekciju pada. Uređaj se zasniva na mikrokontrolerskom sistemu sa STM32F407VGT mikrokontrolerom, koji integriše MPU-6050 senzorski modul sa akcelerometrom i žiroskopom i NEO6m GPS modul. Na osnovu signala sa senzora MPU-6050 modula prati se kretanje korisnika i vrši se izdvajanje obeležja od značaja, kojim je moguće okarakterisati kretanje korisnika.



Slika 1. Blok dijagram sistema za detekciju pada

U sistemu za detekciju pada implementiran je model mašinskog učenja, koji na osnovu signala sa MPU-6050 senzora vrši klasifikaciju kretanja korisnika kao hodanje, stajanje, sedenje, pad unapred ili pad u stranu.

Ukoliko uređaj detektuje da je došlo do pada, odnosno, ukoliko je kretanje klasifikovano kao pad unapred ili pad u stranu, u okviru odgovarajućeg korisničkog interfejsa prikazuju se podaci o lokaciji koji su prikupljeni na osnovu NEO6m modula, u suprotnom, u okviru korisničkog interfejsa prikazuju se signali sa akcelerometra i podaci o vrsti kretanja. Blok dijagram implementiranog sistema prikazan je na slici 1.

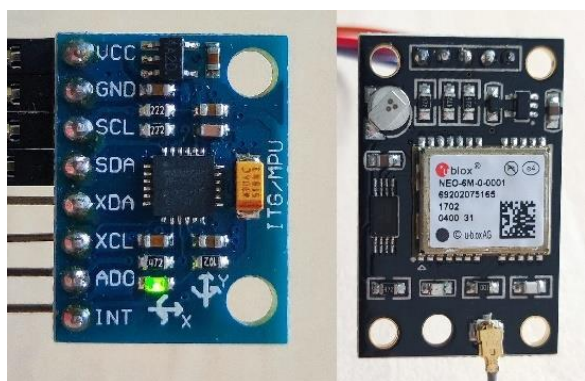
2. HARDVERSKIE KOMPONENTE UREĐAJA ZA DETEKCIJU PADA

2.1. Opis hardverskih komponenti uređaja za detekciju pada

Prvenstveno je realizovan prototip uređaja za detekciju pada upotrebom STM32F4DISCOVERY razvojne ploče i odgovarajućeg STM32F4 Discovery Shield-a, na kojima su integrisani senzori – GY-521 pločica sa MPU-6050 senzorom i pločica sa NEO6m GPS modulom. U okviru datog sistema nalazi se STM32F407VGT mikrokontroler, koji sadrži Arm 32-bitni Cortex CPU (*Central Processing Unit*). Dati mikrokontroler sadrži FPU (*Floating Point Unit*), 1 MB Flash memorije, 192 kB SRAM (*Static Random-Access Memory*), dvanaest 16-bitnih i dva 32-bitna tajmera, tri 12-bitna ADC (*Analog to Digital Converter*), dva DAC (*Digital to Analog Converter*), I²C (*Inter-Integrated Circuit*), USART (*Universal Synchronous-Asynchronous Receiver Transmitter*), SPI (*Serial Peripheral Interface*), CAN (*Controller Area Network*) interfejse, interni oscilator sa frekvencijom od 16 MHz, kao i mogućnost dovođenja spoljašnjeg izvora takta frekvencije od 4 MHz do 26 MHz, itd [3].

Kao što je prethodno navedeno, u svrhe praćenja kretanja korisnika korišćen je MPU-6050 senzor koji integriše MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) akcelerometar sa tri ose i žiroskop sa tri ose. MPU-6050 modul sadrži po tri 16-bitna ADC za akcelerometar i za žiroskop, kojima se vrši digitalizacija vrednosti sa senzora po sve tri ose. Podaci o x, y i z osi se prikupljaju istovremeno, a moguće ih je očitavati iz posebnih registara čipa, putem serijskog interfejsa [4].

NEO6m GPS modul omogućava primanje podataka sa satelita, i on predstavlja prijemnik sa 50 kanala, što omogućava značajno manje vreme prve fiksacije podataka (ispod jedne sekunde). Podaci koji se emituju sa satelita, a primaju putem GPS prijemnika, se prenose kao kodirane poruke, čiji je format definisan određenim protokolima. U ovom slučaju, putem NEO6m modula očitavane su poruke po NMEA (*National Marine Electronics Association*) standardu, u vidu GGA rečenice koje sadrže podatke o broju satelita, vremenu, geografskoj širini, geografskoj dužini itd. Kako bi bila određena lokacija na kojoj se korisnik nalazi u trenutku pada, iz GGA rečenica izdvajani su podaci o geografskoj širini i dužini [5].

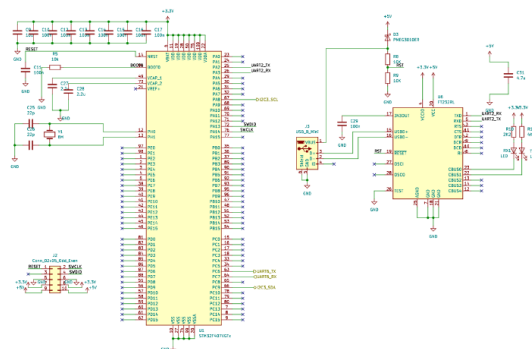


Slika 2. Senzorski moduli uređaja za detekciju pada

MPU-6050 senzor, kao i NEO6m GPS modul prikazani su na slici 2.

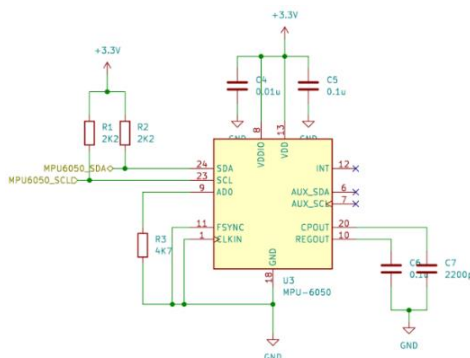
2.2. KiCAD šema uređaja za detekciju pada

Šema uređaja za detekciju pada kao i PCB (*Printed Circuit Board*) dizajn, kreirani su u okviru KiCAD softvera. Šema uređaja podeljena je u četiri celine – mikrokontroler, MPU-6050, NEO8 i deo za napajanje pločice. Na slici 3 prikazana je šema dela uređaja koji se odnosi na STM32F407VGT mikrokontroler. Pored samog mikrokontrolera, dati deo šeme podrazumeva i konektore za eksterni programator ST-LINK/V2 za programiranje mikrokontrolera, kao i USB (*Universal Serial Bus*) B Mini konektor koji omogućava povezivanje sa računarnom i razmenu podataka, za koju je takođe neophodan i FT232RL čip, koji omogućava sprezanje UART i USB komunikacionih protokola.



Slika 3. Šema mikrokontrolera STM32F407VGT

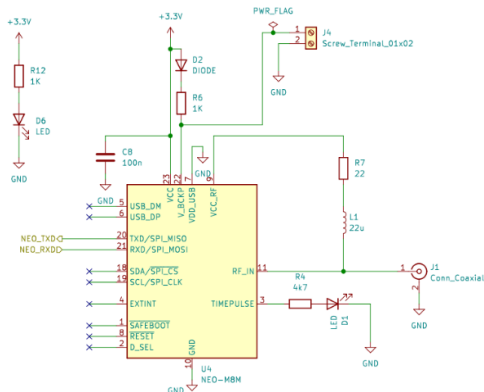
MPU-6050 čip i mikrokontroler vrše razmenu podataka putem I²C serijskog interfejsa, te su pinovi 23 i 24 MPU-6050 čipa, koji predstavljaju SCL (*Serial Clock*) i SDA (*Serial Data*) linije, redom, povezani na odgovarajuće pinove I²C 3 interfejsa mikrokontrolera (PC9 – SDA, PA8 – SCL). SCL i SDA pinovi MPU-6050 čipa konfigurisani su u open-drain konfiguraciji sa pull-up otpornicima otpornosti 2,2 k Ω . Slave adresa datog čipa podešava se putem pina AD0, na koji je povezan pull-down otpornik otpornosti 4,7 k Ω , i on definiše stanje logičke 0 na pinu kada na njega nije doveden napon, odnosno, definiše slave adresu 0x68. Na slici 4 prikazan je deo šeme uređaja sa MPU-6050 senzorskim modulom.



Slika 4. Šema MPU-6050 senzorskog modula

Kao GPS modul upotrebljena je verzija NEO8 GPS modula, dostupna u KiCAD softveru. Slikom 5 prikazan je deo šeme uređaja za detekciju pada koji sadrži navedeni GPS modul. Prenos podataka između GPS modula i mikrokontrolera vrši se putem UART interfejsa, te su pinovi NEO8 modula 20 (TX - *Transmit*) i 21 (RX - *Receive*) povezani na pinove mikrokontrolera koji odgovaraju

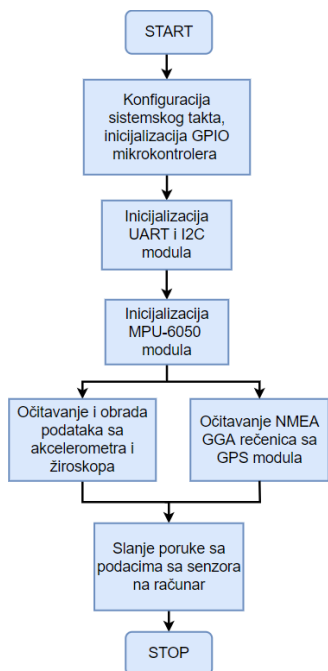
USART 6 modulu-PC6 (TX) i PC7 (RX). Između pinova 9 i 11 NEO8 postavljen je konektor za antenu, koja omogućava adekvatan rad GPS modula. Dodatno, omogućeno je i dovodenje rezervnog baterijskog napajanja.



Slika 5. Šema NEO8 GPS modula

5. FIRMVER SISTEMA ZA DETEKCIJU PADA

Kod (firmver) za STM32F407VGT mikrokontroler napisan je u STM32CubeIDE razvojnom okruženju. Na slici 6 ilustrovan je algoritam izvršavanja koda napisanog za mikrokontroler uređaja za detekciju pada. Naime, prvi korak ovog algoritma jeste resetovanje svih periferija i inicijalizacija Flash memorije, a zatim inicijalizacija sistemskog takta, kao i GPIO mikrokontrolera. Zatim je neophodno izvršiti inicijalizaciju svih konfiguriranih periferija, koje u ovom slučaju podrazumevaju I2C 3, USART 2 i USART 6 module STM32F407VGT mikrokontrolera. Takođe, neophodno je izvršiti konfiguraciju MPU-6050 čipa, koja podrazumeva podešavanje frekvencije odabiranja (1 kHz), kao i opsega pune skale akcelerometra (± 8 g) i žiroskopa (2000 $^{\circ}$ /s).



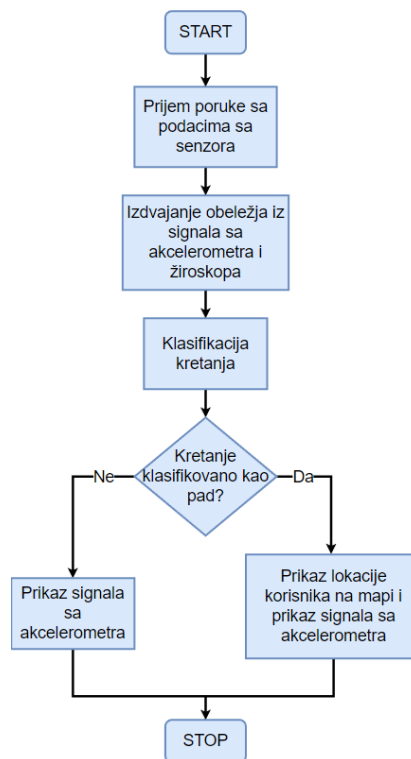
Slika 6. Algoritam izvršavanja koda za mikrokontroler

U narednom koraku vrši se akvizicija podataka sa senzora. Očitavaju se vrednosti sa akcelerometra i žiroskopa po x, y i z osi i one na mikrokontroler pristižu

putem I²C interfejsa, a zatim se sirove vrednosti pretvaraju u vrednosti izražene u g i $^{\circ}$ /s, redom. Putem UART komunikacionog interfejsa na mikrokontroler pristižu NMEA GGA rečenice sa GPS modula. Na osnovu poznatog formata GGA rečenica, detektuju se početak svake rečenice i sa odgovarajućih mesta se izdvajaju podaci o geografskoj širini i geografskoj dužini. Podaci o vrednostima signala sa akcelerometra i žiroskopa po x, y i z osi (ax, ay, az, odnosno, gx, gy, gz), kao i podaci o geografskoj širini i dužini lokacije korisnika šalju se na računar u vidu poruka specificiranog formata.

4. SOFTVER SISTEMA ZA DETEKCIJU PADA

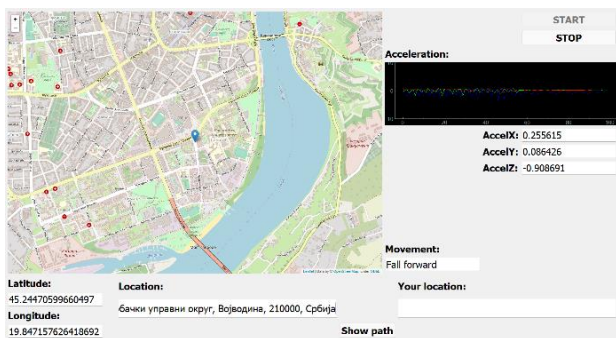
U Python programskom jeziku kreiran je korisnički interfejs sa ciljem vizuelizacije signala sa MPU-6050 senzora, kao i prikaza lokacije korisnika na mapi u trenutku kada je pad detektovan. Algoritam izvršavanja Python koda korisničkog interfejsa namenjenog uređaju za detekciju pada prikazan je na slici 7.



Slika 7. Algoritam izvršavanja koda korisničkog interfejsa

Naime, sa desne strane korisničkog interfejsa omogućen je prikaz signala sa akcelerometra, kao i ispis vrednosti ubrzanja za sve tri ose. Sa leve strane korisničkog interfejsa prikazuje se mapa, na kojoj se iscrtava referentna lokacija, sve do trenutka detekcije pada. Ukoliko je pad detektovan trenutna lokacija osobe koja nosi uređaj (na osnovu podataka o geografskoj širini i dužini, prikupljenih sa GPS modula) ispisuje se u polju Location i prikazuje se na mapi. Izgled aplikacije u slučaju detekcije pada prikazan je na slici 8. Korisniku aplikacije je omogućen prikaz optimalne putanje do osobe koja je pretrpela pad, unosom svoje lokacije u polje Your Location i pritiskom na taster Show path.

Takođe, u okviru polja Movement prikazuje se vrsta kretanja korisnika uređaja, odnosno, izlazna klasna labela klasifikatora.



Slika 8. Izgled aplikacije ukoliko je detektovan pad

5. MODELI MAŠINSKOG UČENJA

5.1. Analiza i obrada baze podataka

Kako bi bio formiran model mašinskog učenja sistema za detekciju pada prikupljena je baza podataka na osnovu signala sa akcelerometra i žiroskopa. Naime, u cilju kreiranja baze podataka napravljen je interfejs u kome je omogućen prikaz signala sa akcelerometra i žiroskopa i njihov upis u .csv datoteke. Signali su snimani za pet različitih aktivnosti – hodanje, stajanje, sedenje, pad unapred i pad u stranu. Kroz svaki od signala prolazilo se prozorom dužine 100 odbiraka, gde je preklapanje dva susedna prozora 50 %, i izdvojena su obeležja. Baza podataka sadrži 482 uzorka koja su opisana pomoću 20 obeležja, a ona predstavljaju srednju, maksimalnu i minimalnu vrednost za signale sa akcelerometra i žiroskopa, kao i roll i pitch uglove. Svakom od uzoraka dodeljena je klasna labela na osnovu aktivnosti koja je bila u toku snimanja datog signala, i to – WA (*walking*), ST (*standing*), SIT (*sitting*), FL (*lateral fall*) i FF (*fall forward*). Kategoričke oznake klasa pretvorene su u numeričke vrednosti dodelom brojeva 0, 1, 2, 3 i 4 klasama FF, FL, SIT, ST i WA, redom. U datoj bazi su sva obeležja numerička i izvršena je Z-normalizacija svih obeležja pre same obuke modela.

5.2. Obuka klasifikatora i evaluacija modela

U cilju klasifikacije kretanja i detekcije padova obučena su tri modela mašinskog učenja: kNN (*k Nearest Neighbors*) klasifikator, DT (*Decision Trees*) klasifikator i SVM (*Support Vector Machine*) klasifikator. Pre same obuke i evaluacije pojedinačnih modela, baza podataka je podeljena na dva skupa - trening skup i test skup, gde trening skup čini 80 % ukupnih podataka, dok preostalih 20 % početne baze podataka čini test skup.

Tabela 1. Mere uspešnosti klasifikatora

	kNN	DT	SVM
Tačnost	0,88	0,87	0,85
Mikro preciznost	0,88	0,87	0,85
Makro preciznost	0,80	0,81	0,77
Mikro osetljivost	0,88	0,87	0,85
Makro osetljivost	0,78	0,85	0,78
Mikro F-mera	0,88	0,87	0,85
Makro F-mera	0,78	0,83	0,76

Za procenu performansi obučenih modela analizirane su prosečna tačnost (prosek tačnosti po klasama), mikroprosečna osetljivost, preciznost i F-mera, kao i makroprosečna osetljivost, preciznost i F-mera. Vrednosti ovih mera za evaluaciju klasifikatora prikazane su u okviru tabele 1, iz koje je moguće uočiti da su navedena tri klasifikatora približno jednakih performansi.

6. ZAKLJUČAK

Značaj uređaja za detekciju padova leži u prevenciji teških posledica koje padovi mogu imati kod starijih osoba, kao i u samostalnosti i sigurnosti u svakodnevnim aktivnostima starijih ljudi. U istraživanjima vezanim za detekciju padova postoji nekoliko problema. Naime, vršenje eksperimenata i prikupljanje podataka o padovima nije moguće kod starijih ljudi, te se većina istraživanja zasniva na simulacijama padova. Pored toga, karakterizacija kretanja i parametara koji jasno definišu različite vrste kretanja je veoma zahtevno.

U daljem radu neophodno je izvršiti veći broj eksperimenata i proširiti bazu podataka. Takođe, neophodno je dodati modul za bežični prenos informacija o kretanju korisnika sa uređaja na računar i implementirati kreiranu PCB pločicu u jedan kompaktan, prenosiv uređaj.

7. LITERATURA

- [1] A. J. Campbell, J. Reinken, B. C. Allan and G. S. Martinez, "Falls in old age: A study of frequency and related clinical factors," *Age and Aging*, vol. 4, no. 10, pp. 264-270, 1981.
- [2] X. Yu, "Approaches and principles of fall detection for elderly and patient," *HealthCom 2008 - 10th International Conference on e-health Networking, Applications and Services*, 2008.
- [3] STMicroelectronics, "STM32F405xx, STM32F407xx datasheet," 2020. [Online]. Dostupno na: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf](https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf). [pristupljeno u avgustu 2022.].
- [4] InvenSense, "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification revision 3.4.," 2013. [Online]. Dostupno na: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. [pristupljeno u avgustu 2022.].
- [5] E. Gakstatter, "GPS World: What exactly is GPS NMEA data?" 2015. [Online]. Dostupno na: <https://www.gpsworld.com/what-exactly-is-gps-nmea-data/>. [pristupljeno u avgustu 2022.].

Kratka biografija:



Sanja Mandić rođena je u Novom Sadu 1998. god. Diplomski rad iz oblasti Biomedicinskog inženjerstva odbranila je 2021. godine, na Fakultetu tehničkih nauka, Univerzitetu u Novom Sadu. kontakt: sanja.mandic@uns.ac.rs