

# Merno-akvizicioni sistem za pravilno sedenje

Mario Volaš, Dragan Pejić, *Member, IEEE*, Marjan Urekar, *Member, IEEE*

**Apstrakt**—U ovom radu predstavljeno je rešenje firmvera za prototip uređaja za pravilno sedenje, koji korisniku daje povratnu informaciju o položaju njegovog tela tokom sedenja. Ovaj uređaj je za cilj imao da popravi držanje korisnika, i tako smanji bolove koji nastaju posle višerasovnog sedenja. Za razvoj ovog prototipa korišćen je STM32F407 mikrokontroler sa razvojnom pločom STM32F4 Discovery. Na sedalnom delu stolice postavljene su merne ćelije za merenje sile, koje proveravaju položaj korisnika na sedalnom delu stolice. Izlazi mernih ćelija se na mikrokontroler dovode preko A/D konvertora HX711. Merenje udaljenosti korisnika od naslona stolice vrši Proximity click, dok povratnu informaciju o nepravilnom sedenju korisnik dobija preko vibro-motora koji se pokreće DC motor 4 click pločicom.

**Ključne reči**—Embedded, STM32F407, Merne ćelije, Proximity click, HX711, Merenje

## I. UVOD

Bol u leđima postaje sve veći problem u modernom svetu. Istraživanja pokazuju da se od 1990. do 2016. godine broj godina provedenih sa invaliditetom (DALY- Disability adjusted life years) uzrokovanim bolom u leđima povećao za čak 50% [1]. Glavni uzrok ovih rezultat je stil života, u kom ljudi provode sve više i više vremena u sedećem položaju.

Kako bi što više smanjili rizik od bolova u leđima, potrebno je da osoba sedi pravilno. Dobar sedeći položaj podrazumeva položaj kada je telo uspravno ili lagano nagnuto napred, glava pravilno uzdignuta, te na taj način stimuliše lagano i stalno napetost dugih mišića kičme i kratkih mišića vrata. Gornji i donji udovi su u simetričnom položaju, stopala su paralelno postavljena i celom se površinom oslanjaju na pod. Ovakav položaj obezbeđuje najbolju udaljenost očiju od površine čitanja i manji zamor [2].



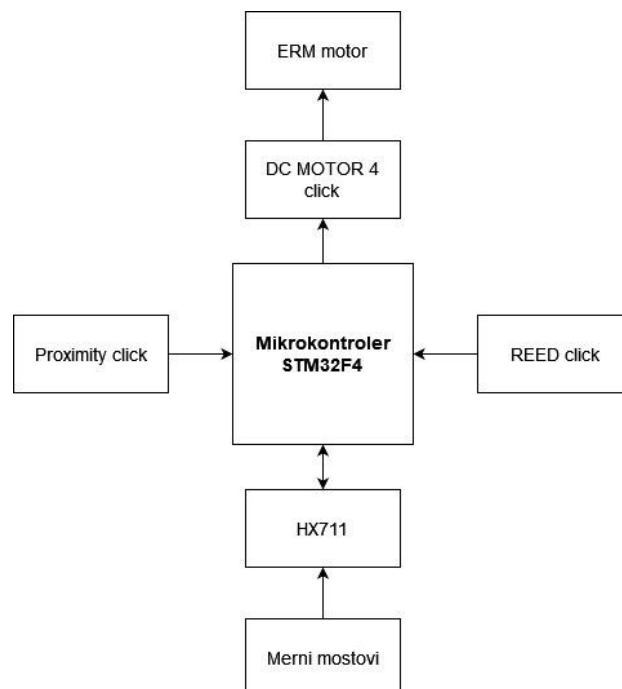
Sl. 1 - Nepravilan i pravilan položaj tela pri sedenju

Mario Volaš – Fakultet tehnikih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: mariovolas@gmail.com)

Dragan Pejić – Fakultet tehnikih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: pejicdra@uns.ac.rs).

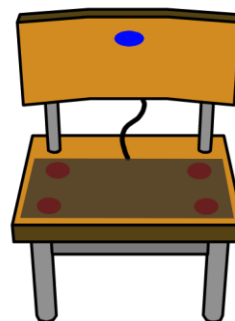
Marjan Urekar – Fakultet tehnikih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs)

Kako bi se korisnik podstakao na pravilan položaj tela pri sedenju, razvijen je Uređaj za pravilno sedenje. Ovaj uređaj prati položaj tela korisnika na sedalnom delu stolice kao i na naslonu stolice. Za razvoj prototipa korišćeno je razvojno okruženje STM32F4 Discovery [3], čiji je centralni deo STM32F407 mikrokontroler. Sila kojom se korisnik naslanja na jednu ili na drugu nogu meri se load cell-ovima, a na naslonu stolice se nalazi Proximity click [4] koji meri da li je korisnik naslonjen na stolicu. Za obaveštavanje korisnika o njegovom nepravilnom položaju koristi se motor sa ERM (Ekscentrična rotirajuća masa). Korisnik takođe može da izabere između striktnog i opuštenog režima rada. Blok šema uređaja je prikazana na slici broj 2.



Sl. 2 - Blok šema uređaja za pravilno sedenje

Na slici 3. prikazan je nacrt uređaja za pravilno sedenje.



Sl. 3 - Nacrt uređaja za pravilno sedenje

## II. HARDVER

Radi bržeg, praktičnijeg i jednostavnijeg razvoja prototipa Uređaja za pravilno sedenje, korišćene su uglavnom modularne komponente i razvojne ploče.

### A. Razvojno okruženje hardvera

STM32F4 Discovery razvojna ploča u sebi sadrži mikrokontroler STM32F407VG. On je 32-bitni mikrokontroler koji radi na frekvencijama do 168 MHz, 128 KB RAM memorije, 1024 KB FLASH memorije, 3xI2C, 2xUART, 3xSPI interfejsa, 17 tajmerskih modula, itd. Razvojna ploča takođe sadrži i ST-LINK/V2-A embeded alat za debugovanje.



Sl. 4 - STM32F4 Discovery [3]

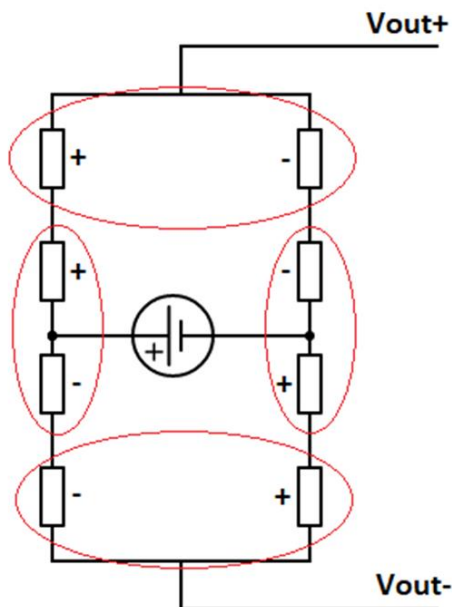
Kako bi na STM32F4 Discovery razvojnu ploču na najjednostavniji način priključili click pločice, korišćen je STM32F4 Discovery shield [5]. Na njega je moguće priključiti četiri click pločice, a pored toga poseduje i USB UART priključak, koji omogućava povezivanje mikrokontrolera na PC računar bez serijskog porta.



Sl 5 - STM32F4 Discovey shield [5]

### B. Merne ćelije

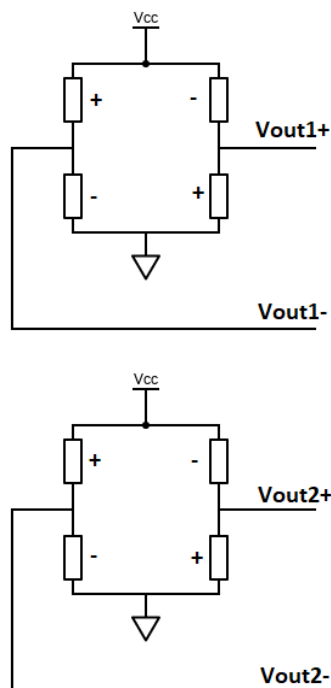
Za merenje sile pritiska na sedalnom delu stolice korišćene su merne ćelije koje se nalaze u komercijalnoj digitalnoj vagi za merenje telesne mase. U vagi se nalaze četiri merne ćelije, a svaka od njih predstavlja jedan polu-most.



Sl. 6 - Način povezivanja mernih mostova

Na slici 6. zaokruženi elementi predstavljaju jednu mernu ćeliju. Na ovaj način polu-mostovi čine jedan ceo most.

Uređaj za pravilno sedenje zahteva dva odvojena mosta, koja se nalaze na levoj i desnoj strani sedalnog dela stolice.

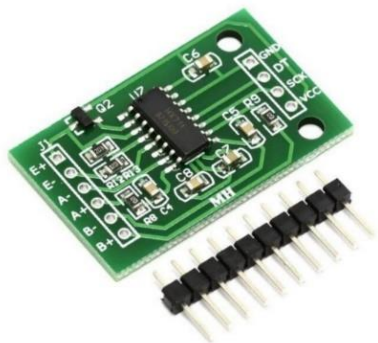


Sl. 7 - Način povezivanja mernih mostova u uređaju

Ovo prespajanje je izvršeno pomoću jumper-a kako bi izmena bila reverzibilna, te se nakon modifikacija uređaj može koristiti i kao vaga za merenje telesne mase, i kao uređaj za pravilno sedenje.

### C. HX711

Za merenje izlaza mernih mostova korišćen je A/D konvertor HX711 [6]. HX711 je 24-bitni A/D konvertor, koji je dizajniran za vage i industrijske uređaje koji su bazirani na mernim mostovima. Posедуje dva kanala. Kanal A ima pojačanje od 128 ili 64, dok kanal B ima pojačanje od 32. Rezultati merenja se šalju na serijski interfejs, preko kog se informacije prenose na mikrokontroler. Da bi ovaj čip funkcionisao kako treba, potrebno mu je dodati i neke spoljašnje elemente, što je u ovom slučaju već urađeno na gotovoj štampanoj ploči (slika 8.).



Sl. 8 - Izgled štampane ploče sa HX711 [6]

HX711 sa mikrokontrolerom komunicira pomoću serijskog interfejsa za koji su potrebna dva pina, jedan za takt, a drugi za podatke.

### D. Proximity click

Proximity click na sebi sadrži integrisano kolo VCNL4010, koje služi kao senzor blizine i ambijentalnog svetla. On kombinuje emiter infracrvenog svetla i PIN fotodiode za merenje blizine u dometu do 20 cm. Čip VCNL4010 ima 16-bitnu rezoluciju. Takođe, može se koristiti i kao senzor ambijentalnog svetla. Proximity click komunicira sa mikrokontrolerom preko I2C komunikacije. Ova click pločica može da se napaja sa 3,3 V ili 5 V.



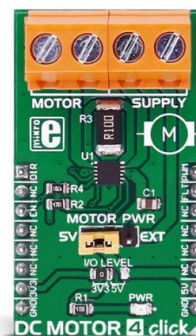
Sl. 9 - Izgled Proximity click-a [4]

VCNL4010 sadrži sedamnaest 8-bitnih registara za kontrolu, postavku parametara i baferovanje očitanih rezultata. Svi ovi registri su dostupni mikrokontroleru preko I2C komunikacije.

### E. DC MOTOR 4 click

DC MOTOR 4 click [7] je click pločica koja ima mogućnost pokretanja motora sa naponima napajanja od 5 V

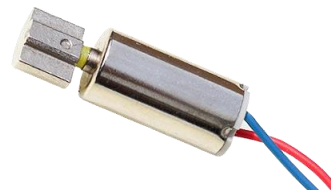
do 36 V. Sadrži MAX14870 drajver motora od kompanije Maxim Integrated. Ova click pločica je dizajnirana da radi na 3,3 V ili 5 V. Takođe, na njoj postoji i jumper, pomoću kog se može podesiti da li se koristi unutrašnje napajanje od 5 V, ili neko spoljašnje napajanje.



Sl. 10 - Izgled DC MOTOR 4 click-a [7]

Za komunikaciju sa mikrokontrolerom koriste se linije PWM, FLT, DIR i EN. Kontrola brzine okretanja motora vrši se pomoću PWM signala. Veća ispunjenost PWM signala znači i brže okretanja motora. Integrisano kolo MAX14870 nudi i mogućnosti izbora smera kretanja motora pomoću linije DIR.

U ovom projektu DC MOTOR 4 click služi za pokretanje motora sa ekscentričnom rotirajućom masom (ERM), koji proizvodi vibracije, kako bi korisnik bio obavešten o nepravilnom sedenju.



Sl. 11 - Izgled ERM motora [8]

### F. REED click

REED click [9] je jednostavna pločica koja na sebi sadrži standardni (jednopolni, jednopolozajni, normalno otvoren) reed relej. Kada se na ovaj relej utiče magnetnim poljem, njegovi kontakti se zatvore. Tada se na mikrokontroler šalje logička jedinica.

Za ovu aplikaciju REED click je izabran kako bi korisnik preko tkanine na stolici mogao da bira mod rada uređaja.



Sl. 12 - Izgled REED click-a [9]

## III. FIRMVER

## A. Razvojno okruženje firmvera

Firmver za prototip uređaja za pravilno sedenje napisan je u STM32CubeIDE [10] razvojnom okruženju.

Uređaj za pravilno sedenje se bazira na razvojnoj ploči STM32F4 Discovery koja u sebi sadrži STM32F407VG mikrokontroler. Kompanija STMicroelectronics za programiranje ovog mikrokontrolera nudi razvojno okruženje STM32CubeIDE. STM32CubeIDE je napredno C/C++ razvojno okruženje sa periferalnom konfiguracijom, generatorom koda, kompajlerom koda i svojstvima za debugovanje STM32 mikrokontrolere i mikroprocesore.

Pomoću ovog okruženja moguće je na jednostavan način konfigurirati sve periferije mikrokontrolera, GPIO pinove, takt rada, interne i eksterne interapte itd. Takođe sadrži i debager, pomoću koga se može pratiti izvršavanje koda korak po korak.

Jedan od glavnih prednosti STM32CubeIDE razvojnog okruženja je njegov Device configuration tool. On nam omogućava da na jednostavniji i brži način konfiguriramo pinove, oscilatore, periferije itd.

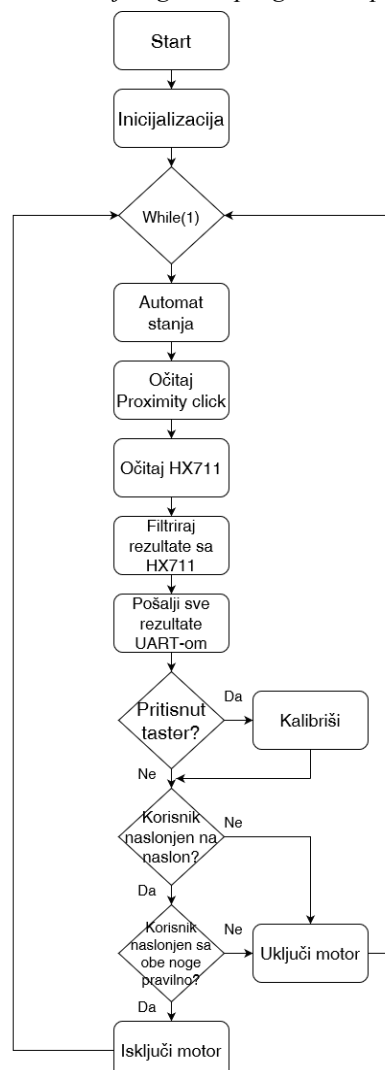
U ovom alatu najpre je podešena brzina takta koji zadaje brzinu rada mikrokontrolera. Brzina ovog takta je 168 MHz. Ova brzina se postiže pomoću eksternog oscilatora od 8 MHz, unutrašnjeg PLL-a (množača takta), i preskalera. Iako ova brzina nije neophodna za ovakvu primenu mikrokontrolera, veća brzina je omogućila da mikrokontroler sigurno izvršava sve zadatke.

Pomoću Device configuration tool-a su takođe podešeni i GPIO pinovi. Ovi pinovi služe kako bi se prikupljali podaci sa ostalih uređaja ili kako bi se njima upravljalo. Tako imamo pinove za upravljanje AD konvertorom HX711, za prikupljanje podataka sa Proximity click-a, itd.

Ovde su takođe podešeni i tajmeri. U ovom projektu oni su korišćeni za generisanje PWM signala, kao i za kreiranje funkcije koja pravi kašnjenje (eng. *delay*) od mikrosekunde.

Konfiguracija komunikacionih modula je takođe odrađena pomoću Device configuration tool-a. Za ovaj projekat bili su potrebni USART2 i I2C3 moduli, pomoću kojih je mikrokontroler komunicirao sa PC računarnom i proximity click-om.

## B. Algoritam izvršavanja i glavna programska petlja



Sl. 13 - Algoritam izvršavanja

U glavnoj programskoj petlji se nalazi glavni deo koda, koji se izvršava beskonačno puta. Prvo se izvršava automat stanja (eng. *state machine*) koji pomoću reed releja određuje u kojem modu rada treba da radi uređaj (opušteno ili striktno).

Sledeća celina se odnosi na čitanje razdaljine sa Proximity click-a. Prvo se upisuje vrednost za konfiguraciju čipa VCNL4010 tako da on prikuplja podatke sa senzora blizine. Nakon toga, posle kratkog delay-a čitaju se podaci iz njegovih registara, u kojima se skladište podaci o razdaljini. Ove podatke smeštamo u dve 8-bitne promenljive, a nakon toga ih spajamo u jednu 16-bitnu.

Posle isčitavanja vrednosti sa Proximity click-a sledi očitavanje vrednosti sa AD konvertora HX711. Kada su vrednosti očitane, njih je potrebno i filtrirati. Implementacijom FIR filtra ovo je odrađeno na jednostavan i efikasan način. Filter je dizajniran pomoću online alata Tfilter, koji za zadate vrednosti frekvencija i pojačanja sam generiše kod i konstante.

Kako bi ovaj uređaj odgovarao svakom korisniku, bez obzira na njegovu masu, potrebno je izvršiti kalibraciju. Kada korisnik sedne, pritiskom na taster za kalibraciju uređaj u

promenljivu upisuje referentnu vrednost sa kojom će kasnije da upoređuje nove vrednosti.

Za komunikaciju sa PC računarem koristi se UART komunikacija. Kada su svi potrebni podaci prikupljeni, oni se upoređuju sa dozvoljenim vrednostima. Kada je neka vrednost van dozvoljenog opsega, uključuje se motor, i preko UART-a se ispisuje poruka. Ovo se radi za obe strane sedalnog dela, kao i za rastojanje od naslona.

#### IV. DISKUSIJA

Uređaj za pravilno sedenje je uređaj koji bi pomogao ljudima u modernom svetu, a koji se bave poslom koji zahteva viščasovno sedenje. Pomoću njega, korisnik u svakom trenutku ima uvid u položaj svog tela, i na nepravilnosti u držanju. Dizajniran je tako da ga korisnik na jednostavan način može kalibrisati za svoje potrebe, a takođe ga može koristiti i kao vagu za telesnu masu uz jednostavnu rekonfiguraciju.

Kako je ova verzija uređaja dizajnirana pomoću razvojne ploče, njegova cena nije pristupačna za većinu korisnika, ali uz male modifikacije mogao bi biti veoma pristupačan. Naime, za potrebe ovog sistema mogao se koristiti i mikrokontroler sa slabijim karakteristikama i sa manje mogućnosti. Takođe, većina elemenata bi se mogla postaviti na jednu ploču, i tako uštedeti na izradi pojedinačnih click pločica.

Tokom izrade prototipa, osim izrade samog sistema, dodatne izazove predstavljalo je i samo mehaničko rešenje. Naime, kako bi Proximity click merio odstojanje korisnika od naslona stolice, bilo je potrebno probušiti rupu na naslonu stolice da bi infracrveni zraci iz senzora stigli do korisnika, a da pritom senzor ne bude sa prednje strane naslona i time izazove neudobnost pri sedenju. Takođe, za prototip nije izrađeno kućište, pa iz ovog razloga razvojna ploča nije mogla da se zašrafi na stolicu.

Još jedna mana prototipa je njegova udobnost. Da bi korisnik ovaj uređaj mogao da koristi svakodnevno i duže vremena, potrebno je dizajnirati sedalni deo koji bi za to bio pogodan.

Problem pri merenjima sa mernim ćelijama predstavljao je A/D konvertor HX711. Iako on poseduje dva kanala za merenje, oni nemaju isto pojačanje. Ovo je predstavljalo problem, jer je prvobitna ideja bila da se računa odnos između dve strane sedalnog dela, što nije moguće kada su pojačanja različita.

Ovaj uređaj bi se mogao i dodatno nadograditi tako što bi se podaci koji se sakupljaju mogli dalje slati na WEB server. Obrada mernih podataka zahteva veću procesorsku moć, kakvu imaju PC računari i serveri. Na taj način bi mikrokontroler mogao da se u potpunosti svede na minimalne specifikacije, jer ne bi obavljao komplekse obrade, kao što su filtriranje podataka. WEB server bi takođe mogao i da skladišti prethodne podatke, i na taj način bi korisnik mogao da prati poboljšanje svog sedećeg položaja. Takođe, razvojem aplikacije za Android ili IOS mogao bi se vršiti i nadzor pravilnog sedenja dece, i roditelj bi na jednostavan način mogao da utiče na razvoj deteta.

Prednost ovog uređaja u odnosu na već postojeće komercijalne uređaje je što pokriva i sedalni deo, kao i naslon stolice. Takođe, uređaj se može montirati na bilo koju stolicu, pa korisnik ne mora da brine o postavljanju uređaja svaki put kad ga koristi.



Sl. 14 - Izgled Uređaja za pravilno sedenje

#### V. ZAKLJUČAK

Izradom ovog prototipa pokazana je osnovna funkcionalnost uređaja, koji može biti dobra osnova za gotov proizvod. On bi se, uz male nadogradnje, mogao koristiti u svakodnevnom životu, obrazovanju, pa čak i za naučna istraživanja.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta MPNTR 200156 : "Inovativna naučna i umetnička isptivanja iz domena delatnosti FTN-a".

#### LITERATURA

- [1] Hartvigsen J et al. Low Back Pain Series: What Low Back Pain Is and Why We Need to Pay Attention. Lancet, June 2018; Volume 391, Issue 10137; p2356-2367. J. K. Author, Title of Book, xth ed. City of Publisher, Country: Abbrev. of Publisher, year.
- [2] Kosinac, Z. (1998). Nepravilno sedenje i tjelesno držanje, Školski vjesnik.
- [3] <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32f4discovery.html>
- [4] <https://www.mikroe.com/proximity-click>
- [5] <https://www.mikroe.com/stm32f4-discovery-click-shield>
- [6] <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/1836471/0/0/1/hx711.html>
- [7] <https://www.mikroe.com/dc-motor-4-click>
- [8] <https://www.ricmotor.com/details/erm-vibration-motor>
- [9] <https://www.mikroe.com/reed-click>
- [10] <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>

ABSTRACT

This paper presents the firmware solution for the “Device for proper sitting posture” prototype, which gives insight to the users’ posture during sitting. The devices goal is to correct the users posture and thus reduce the back pain which is caused by long sitting hours. The STM32F407 microcontroller, which is on theSTM32F4 Discovery development board, is used for the development of the prototype. Load cells are located on the sitting part of the chair which check the users sitting posture. The outputs of the load cells are connected to the microcontroller through an A/D convertor named HX711. The users’ distance from the back rest of the chair is measured with a Proximity click, while the feedback of the users’ posture is transmitted through a vibromotor which is powered by a DC motor 4 click board.

**Measurement and acquisition system for proper sitting posture**

Mario Volaš, Dragan Pejić, Marjan Urekar