

Pametnan uložak za cipele u konceptu Industrije 4.0

Aleksandar Kostovski, Igor Popadić, Đorđe Polovina, Igor Milijašević i Marjan Urekar, *Member, IEEE*

Apstrakt – U ovome radu je predstavljena ideja razvoja pametnog uložka za cipele koji bi pomogao deci da u najranijem dobu svog života nauče da hodaju pravilno. Pametni uložak se sastoji iz tri FSR senzora koji mere sile kojima dete deluje na uložak. Podaci o silama se šalju na mobilni telefon koji mora biti uz dete. Ukoliko dođe do nepravilnog hodanja, telefon emituje glasovnu poruku roditelja kojom oni opominju dete da hoda pravilno.

Ključne reči- Pametan uložak; Industrija 4.0; Metrologija; FSR senzor;

I. Uvod

Velikim napretkom u oblasti nauke, fizike, matematike i medicine, dostignut je veliki razvoj tehnologije koji omogućava ubrzani napredak u društvu, pa samim tim omogućava i lakši život. U ovom radu je predstavljen način kako da se ispravi hod kod dece kako ne bi imali problema u kasnijem dobu života.

Deformacija stopala kod dece se javlja u dva slučaja. Jedan broj dece se rađa sa deformitetima stopala, a kod drugih je on stečen u nekoj od razvojnih faza. Izražene deformacije se uočavaju odmah po rođenju i uz primenu fizikalne terapije bivaju uspešno korigovane. Deformitet može da bude prisutan samo na jednoj ili na obe noge. Ukoliko se ništa ne preduzme ili se ne istraje u primeni vežbi, dete će prohodati sa stopalima u nepravilnom položaju što će dovesti do loše šeme hoda koja ostaje za čitav život. Isto će se dogoditi ukoliko do pojave deformiteta dođe kasnije. Sve ovo ima za posledicu narušenu statiku čitavog tela, svih zglobova iznad stopala (skočnih, kolena i kukova) kao i kičmenog stuba [1].

Kako bi se sprečile deformacije u kasnijem dobu, u ovom radu je predstavljena ideja kako obezbediti uređaj koji će dete usmeravati da pravilno hoda. Uređaj nosi naziv „Pametnan uložak za cipele“ kako bi se detetu još u ranom dobu života pokušao korigovati hod. Na taj način bi se popravila statika čitavog tela. U samom ulošku je predviđeno da se nalaze FSR senzori, koji mere kolikim silama dete deluje stopalom na njih. Unutar uložka se nalazi i mikrokontroler koji prikuplja podatke sa FSR senzora i pomoću Bluetooth - a te podatke o silama šalje aplikaciji na mobilnom telefonu. U aplikaciji postoji mogućnost da se unese trenutna masa deteta i da se na osnovu baze podataka (koja se nalazi u sklopu aplikacije) odredi koji opseg sila je prihvatljiv za dete. Aplikacija nudi mogućnost da beleži koliko je pravilnih i nepravilnih koraka dete realizovalo. Na taj način se daje mogućnost roditeljima i lekarima da prate

napredak na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou. Ukoliko dete ne napravi dva pravilna koraka zaredom, telefon emituje glasovnu poruku roditelja kako opominje dete da se potruži da popravi hod. Cilj jeste da dete stekne rutinu kako pravilno da hoda kako bi ispravilo svoje držanje. Što manje opomena bude bilo, to je znak da se dete trudi i da ostvaruje napredak.

Aleksandar Kostovski – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: kostovski.aleksandar12@yahoo.com)

Igor Popadić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: igorpop96@hotmail.com)

Đorđe Polovina – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: polovina.djordje@yahoo.com)

Igor Milijašević – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: igorm994@gmail.com)

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

II. Uticaj metrologije na Industriju 4.0

Da bi se osiguralo da su svi delovi spojeni i da rade pravilno, neophodno je izvršiti proveru. Metrologija je pored medicine najstarija nauka u svetu i primenjuje se u svim naukama baziranim na praktičnim merenjima. Metrologija je nauka o merenjima i rešava tri osnovna zadatka:

1. Definisavanje mernih jedinica,
2. Realizacija mernih jedinica naučnim metodama (etaloni),
3. Ustanovljavanje lanca merne sledivosti uz dokumentovanje mernih nesigurnosti.

Nauka o merenju nije namenjena samo za načelnike, već je od životne važnosti za sve nas:

- Ekonomski uspeh nacije zavisi od sposobnosti proizvođača i trgovine da precizno naprave i testiraju proizvodne komponente,
- Zdravlje ljudi zavisi od tačne dijagnoze i pouzdanih merenja parametara leka [2].

Prilikom proizvodnje ne treba razmatrati samo cenu projekta, nego i tačnost, pouzdanost i brzinu izrade. Industrija 4.0 donosi porast proizvodnje pametnih tehnologija koje same po sebi daju nove i raznolike složenosti u procesu ispitivanja. Cilj je razviti efikasniju proizvodnju koja omogućava prilagođavanje proizvoda. Proizvodnja se ostvaruje u Pametnim fabrikama (Smart factories) koje su opremljene

industrijskim robotima i automatizovanim rukovanjem materijalima. Oslanjaju se na automatizovane upravljačke sisteme izgrađene na pravovremenim verifikacijama i povratnim informacijama. Industrija 4.0 se u velikoj meri oslanja na tehničku i organizacionu povezanost. Kako bi se ostvarila tehnička i organizaciona povezanost, neophodno je obezbediti bolji i brži protok podataka, kao i jednostavniji pristup tim podacima.

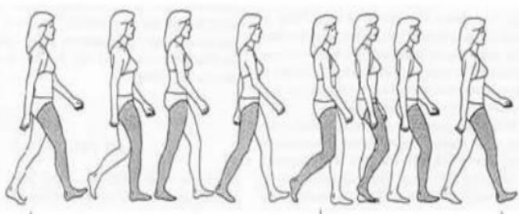
Beskontaktna metrologija (koja uključuje lasere i skenere) od presudnog je značaja za pametne fabrike. Omogućeno je skeniranje visokom rezolucijom, kao i upravljanje mernim uređajima na velike daljine [3]. Za potrebe ovog rada nije potrebna velika daljina između uređaja i telefona jer bi se podaci slali preko bluetooth-a.

III. Tehničko rešenje sistema

U samom uložku je predviđeno da se nalazi otpornik osetljiv na silu pritiska (Force – sensing resistor – FSR), čija je uloga da meri silu kojom dete svojim stopalom deluje (vrši pritisak) na podlogu (slika 1). Što je veće delovanje sile na osetljivi deo, smanjuje se otpornost senzora [4]. Pravilno hodanje treba da bude kao na slici 2.

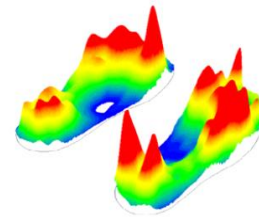


SI. 1. FSR otpornik osetljiv na pritisak [4]



SI. 2. Proces pravilnog hodanja [5]

Pritisak stopala prilikom kretanja se raspoređuje na 3 dela: centralni deo pete, spoljašnji deo stopala (metatarzalna kost) i deo do nožnog palca. Značajan deo tereta nosi prednja noga, a najveći pritisak je smešten u centralnom delu pete. Medijalni (unutrašnji) deo preuzima veoma mali deo tereta zbog koštane strukture stopala [6] i ne predstavlja nam veliki značaj za ispitivanje. Na slici 3 se nalazi raspored pritiska stopala prilikom hoda, gde crvena boja predstavlja deo gde je pritisak najveći.



SI. 3. Raspodela pritiska stopala prilikom hoda [6]

Postoji veliki izbor FSR senzora i potrebno je pronaći odgovarajući. U radu koji je objavila Juliette van der Pas na sajtu Arduino Project Hub [7], koriste se FSR 406, koji je postavljen na peti i FSR 402, koji je postavljen na spoljašnji deo stopala i deo do prstiju (slika 4).



SI. 4. Uložak u kojem su postavljena 3 FSR senzora [7]

Prilikom odabira FSR-a potrebno je obratiti pažnju na rezoluciju i koliku grešku pravi senzor. Rezolucija senzora je od značaja zato što predstavlja sposobnost mernog sistema da detektuje i da ukaže na promene u karakteristikama rezultata merenja [8]. Na slici 5 se nalaze karakteristike senzora FSR 402 za silu od 100 N.

Feature	Condition	Value*	Notes
Actuation Force		0.1 Newtons	
Force Sensitivity Range		0.1 - 10.0 ² Newtons	
Force Repeatability ³	(Single part)	± 2%	
Force Resolution ³		continuous	
Force Repeatability ³	(Part to Part)	±6%	
Non-Actuated Resistance		10M W	
Size		43.69 x 43.69mm	
Thickness Range		0.2 - 1.25 mm	
Stand-Off Resistance		>10M ohms	Unloaded, unbent
Switch Travel	(Typical)	0.05 mm	Depends on design
Hysteresis ³		+10%	(R _{fs} - R _{fo})/R _{fs}
Device Rise Time		<3 microseconds	measured w/steel ball
Long Term Drift		<5% per log ₁₀ (time)	35 days test, 1kg load
Temp Operating Range	(Recommended)	-30 - +70 °C	
Number of Actuations	(Life time)	10 Million tested	Without failure

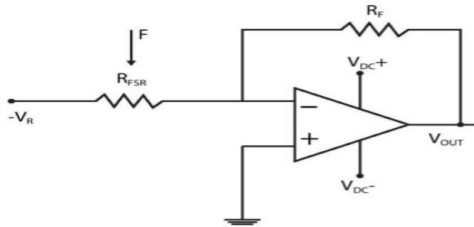
SI. 5. Karakteritike FSR 402 senzora [9]

IV. Slanje rezultata merenja i princip obradivanja rezultata

1) Pretvarački blok, formule i grafički prikaz

Kako rezultati merenja i očitavanja nisu moguća na samim FSR sensorima, svi krajevi senzora se dovode na poseban pretvarački blok. U pomenutom bloku se sile pretvaraju u napone i mikrokontroler pomoću svojih analognih ulaza očitava napone.

Pretvarački blokovi, koji su malopre spomenuti, služe kako bi rešili problem koji se javlja kod ovih FSR senzora. Utvrđeno je da otpornost ne opada linearno sa povećanjem sile i taj problem se rešava pomoću šeme na slici 6. Kolo se sastoji od operacionog pojačavača na koji smo priključili FSR i dovodimo napon. Delovanjem sile na senzor, otpornost senzora se smanjuje i struja teče kroz kolo [10]. Na izlazu se dobija napon V_{out} koji se šalje dalje mikrokontroleru. Na slici 7 je prikazan grafik gde se jasno uočava koliko se otpornost linearno smanjuje sa povećanjem sile [11].

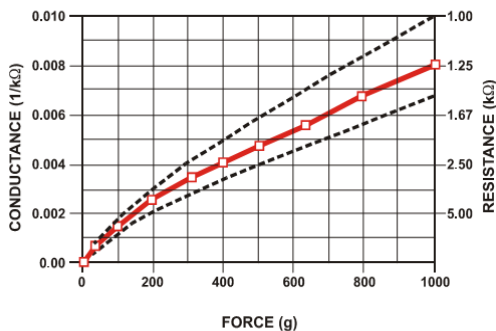


Sl. 6. R_{FSR} povezan sa operacionim pojačavačem [10]

$$I = \frac{V}{R_{FSR}} = V \cdot \frac{1}{R_{FSR}} = V \cdot G_{FSR} = k \cdot F \quad (1)$$

$$V_{out} = R_F \cdot I = R_F \cdot k \cdot F = k_2 \cdot F \quad (2)$$

Jednačina (2) jasno ukazuje da se izlazni napon povećava srazmerno sili pritiska.



Sl. 7. Grafik uticaja sile na linearno smanjenje ili povećanje otpornosti [11]

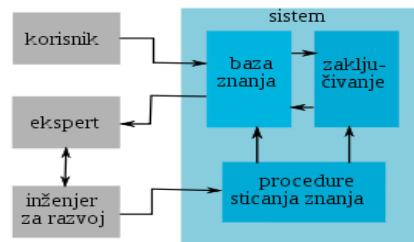
2) Ekspertski sistem

Ekspertski sistemi se koriste za rešavanje komplikovanih zadataka koji su primereni visoko obučanim ekspertima. Mogu se definisati kao računarske aplikacije koji rešavaju probleme visokog stepena složenosti [12]. Osnovu ekspertskog sistema čini poseban softver koji modeluje elementne čovekovog rešavanja problema za koje se smatra da čine čovekovu inteligenciju: zaključivanje, prosuđivanje, odlučivanje na osnovu nepouzdatih i nepotpunih informacija. Ekspertski sistemi poseduju sposobnost da direktno obaveštavaju korisnika, koji postavlja pitanja. Sastoji se od više delova:

- Dela za rešavanje problema (baze znanja, mehanizam zaključivanja, globalna baza podataka),
- Okruženja.

Najvažniji element okruženja je korisnički interfejs, koji korisniku nudi sledeće mogućnosti:

- Sredstva za otkrivanje grešaka u razvoju sistema,
- Grafičke mogućnosti prikaza rezultata,
- Postavljanje pitanja pomoću slike [13].



Sl. 8. Blok šema ekspertskog sistema [14]

3) Uticaj I4.0 tehnologije

Današnja tehnologija daje mogućnost da pomoću aplikacije na mobilnom telefonu korisnik upravlja uređajima u svom domu ili da nadgleda proces rada. Pomenuta tehnologija nosi naziv **Internet of Things** i služi da "opameti" hardver i promeni sve sfere našeg života. U grupu IoT tehnologije spadaju: Pametni gradovi, Pametno zdravstvo, Pametna kuća... [15]. Upravo FSR senzori mere sile kojima dete deluje na uloške, ti podaci se šalju mikrokontroleru i pomoću Bluetooth mreže šalju podatke na mobilni telefon koje dete mora imati uz sebe.

Pri pokretanju aplikacije postavlja se pitanje: „Kolika je masa deteta?“. Nakon unosa mase, aplikacija bira opseg koji je pogodan za tu masu i taj podatak se preko Bluetooth-a šalje mikrokontroleru. Zbog izuzetno velike količine podataka (Big Data) koje senzori prikupljaju u realnom vremenu, oni se skladište i obrađuju na *cloudu*. Pošto se deca brzo razvijaju, aplikacija na svakih sedam dana postavlja pitanje o trenutnoj masi deteta kako bi se opseg prilagodio novoj masi. U aplikaciji

postoji opcija gde se nalaze grafički prikazi koliko je pravilnih i nepravilnih koraka dete napravilo u toku jednog dana na svakih sat vremena (slika 9) i ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka za jednu nedelju (slika 10).



Sl. 9. Ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka na svakih sat vremena



Sl. 10. Grafički prikaz pravilnih i nepravilnih koraka za 7 dana

Merenje počinje onog momenta kada senzor detektuje prvi pritisak stopala na uložak i kada se pokrene aplikacija. Na slici 9 se nalazi ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka deteta na svakih sat vremena. Imajući u vidu da je merenje počelo u 6:15, konačni rezultati pravilnih i nepravilnih koraka je predstavljeno u 7:15. Prednost ove aplikacije je mogućnost da roditelji i lekar sa svog mobilnog telefona mogu prijaviti na nalog deteta. Na taj način je omogućen detaljan uvid u napredak ili nazadovanje.

Kako bi se dodatno smanjio broj nepravilnih koraka, u aplikaciji postoji posebna opcija gde se beleže isključivo nepravilni koraci. Cilj je da se dobiju podaci na kom delu stopala je najveće odstupanje prilikom hoda. Prikazana je Tabela 1 kada je dete napravilo nepravilan korak. Tabela se sastoji od tri parametra:

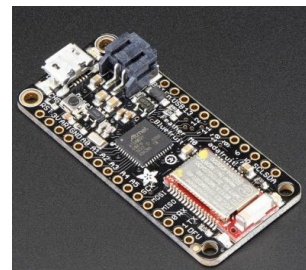
1. izmerene sile na stopalu
2. vremena kada se nepravilan korak desio
3. trenutne mase deteta.

Odstupanje	Peta	Spoljni deo	Deo do prstiju	Vreme [s]	Masa [kg]
Sila [N]	317	367	387	13:23:12	40

Tabela 1. Prikaz rezultata detetovog hoda u aplikaciji

Crvenom bojom je obeleženo na kom delu stopala je dete ostvarilo odstupanje, kao i vreme kada se desilo.

Prikupljanje podataka sa senzora i slanje tih podataka pomoću Bluetooth mreže, omogućeno je odgovarajućim mikrokontrolerom. Za potrebe Pametnog uložka koristi se Adafruit Feather M0 Bluefruit LE mikrokontroler. Reč je o najnovijem Bluetooth Low Energy protokolu niske potrošnje u frekventnom opsegu od 2.4 GHz. To je jedini bežični protokol koji može da se koristi sa iOS operativnim sistemom bez potrebe sa posebnom dozvolom, a podržavaju ga i svi moderni pametni telefoni. To ga čini odličnim za upotrebu u prenosnim projektima koji će koristiti iOS ili android telefon ili tablet. Napajanje mikrokontrolera može da se vrši pomoću 3.7 V litijumske polimer baterije ili preko USB konektora. Zahvaljujući AT komandnom setu, korisniku je omogućeno da ima potpunu kontrolu nad uređajem, uključujući mogućnost definisanja i upravljanja karakteristikama uređaja [16].



Sl. 11. Adafruit Feather M0 Bluefruit LE mikrokontroler [16]

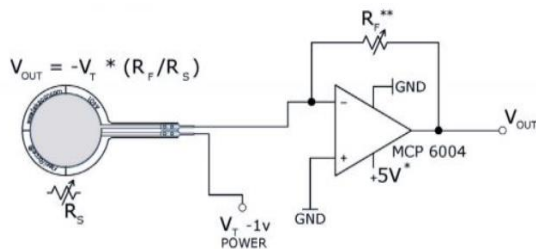
Sve prethodno pomenuto nema smisla ukoliko ne bi postojao način kako da se dete primora da hoda pravilno. Roditelj treba da instalira aplikaciju i pomoću bluetooth - a uspostavi komunikaciju sa uloškom. Tada u sklopu aplikacije postoji opcija da se snimi glasovna poruka takvog sadržaja da skrene detetu pažnju da ne hoda pravilno. Poruka bi se automatski aktivirala posle svaka 2 nepravilna koraka.

Jedan od problema može da bude činjenica da dete ne želi da pristane da nosi uložak. Ukoliko dete 7 dana ne reaguje na upozorenja koja dobija i svesno pravi greške, tada je roditelj u obavezi da kontaktira lekara i da ga obavesti o nastaloj situaciji i da se detetu dodeli termin kada će morati pod nadzorom pedijataru da radi vežbe radi unapređenja hoda. Na taj način bi se dete motivisalo da nosi uložak za cipele kada je predviđeno, kako ne bi morao da svoje slobodno vreme provodi po domovima zdravlja.

V. Diskusija

Pametan uložak za cipele predstavlja primer upotrebe novih tehnologija u službi medicine. Na osnovu prikazanih razmatranja, predložena je konkretna priamna u ispravljanju hoda kod dece. Dalje istraživanje bi omogućilo dodatna unapređenja kako bi se razvio operativni prototip uređaja.

Osnovni problem je izbor adekvatnog FSR senzora. U primeru predstavljenom u ovom radu, upotrebljen je FSR 402, koji se koristio u projektu Arduino Project Hub. Nedostatak senzora jeste njegov maksimalni merni opseg sile od 100 N (ekvivalentno masi od 10 kg), što je malo za praktične potrebe ovog projekta. Jedan od senzora na koji može da se deluje većom silom je FSR A401, opsega sile od 0 do 3 175 kg. U tom slučaju, potrebno je prilagoditi vrednosti otpornosti R_F i napona V_T u pojačavačkom bloku, kako bi se podesilo potrebno pojačanje pri merenju sile ovim sensorom (slika 12) [17].



Slika 12. R_S ili FSR A401 povezan sa operacionim pojačavačem [17]

Jedan od problema svakako jeste „Sa koliko godina dete može da nosi uložak?“. U novinskom članku „Gait abnormalities in children“ [18] postoji objašnjenje da prve naznake bolesti stopala nastaju već u trećoj godini života. U Scholastic novinskom članku [19] se nalazi objašnjenje da dete postaje svesno tek u sedmoj godini. Prema rečima psihoterapeuta Dane Dorfman, pomenuti oblik svesnosti se naziva „Age of Reason“ i odnosi se na kognitivni, emotivni i moralni stadijum u razvoju u kojem deca postaju sposobnija za racionalnu misao, internalizuju savest i imaju bolju sposobnost za kontrolu impulsa. Najveći problem nastaje sa decom između treće i sedme godine, kako im prilagoditi uložak i kako ih naterati da slušaju upozorenja roditelja. Audio poruka sa glasom roditelja je početna ideja kako dete motivisati da se trudi i da koristi Pametan uložak.

Kako bi mikrokontroler mogao da prepozna koji korak je ispravan, potrebne su referentne vrednosti. Treba imati u vidu da ne mogu sva deca imati podjednaku masu, pa su samim tim i referentne vrednosti drugačije. Zato je potrebno da se sprovede ispitivanje dece u rasponu od treće do osamnaeste godine, a da su pritom i različitih konstitucija. U radu „Analysis of the plantar pressure distribution in children with foot deformities“ [20] predstavljeno je kako je vršeno ispitivanje mladih i starijih osoba, kako bi se utvrdilo koliki je maksimalni pritisak koji se ostvaruje kada stopalo dodirne površinu i određivanje srednje vrednosti pritiska stopala. Raspodela pritiska stopala merena je tokom hodanja po trkačkoj stazi pri individualnoj normalnoj brzini hoda (NBH). NBH je određena hodaњem subjekta tokom 12 minuta. Ukupna udaljenost je podeljena sa vremenom hodanja da bi se odredio pojedinačni

NBH. Početna brzina na trkačkoj stazi je iznosila 1.29 km/h (0.8 mph) i povećavala se na svakih 30 sekundi po 0.32 km/h (0.2 mph) dok se normalna brzina kretanja nije uskladila. Nakon utvrđene brzine, ispitanici su tako hodali 6 minuta. Rađena je analiza na 100 koraka (50 levo i 50 desno) i na osnovu toga se može utvrditi koliki se pritisak ostvaruje i na taj način odrediti referentne vrednosti za određenu masu.

U prethodnih 15 godina počela su brojna ispitivanja i razmišljanja kako unaprediti hod. Prvi sistem je koristio žicu za prenos podataka sa senzora na karticu za prikupljanje podataka na PC sa 96 % tačnosti identifikacije (slika 13) [21]. Potom se pojavila potreba za sistemom koji može priuštiti bežičnu vezu u realnom vremenu i pouzdan rezultat za merenje pritiska stopala.



Slika 13. Prenos podataka o hodu preko žice [21]

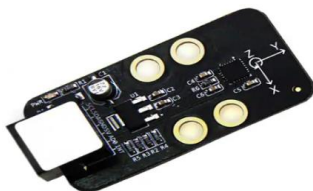
U radu „In-shoe plantar measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array“ [22] predstavljen je uložak koji meri silu kojom se deluje na njega i šalje podatke putem bluetooth-a. Na slici 14 se vidi da je oko članka postavljen wireless senzorski sistem koji šalje podatke na računar.



Slika 14. Prenos podataka o hodu preko bluetooth modula [22]

Prednost „Pametnog uložka za cipele“ u odnosu na „In-shoe plantar measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array“ je mogućnost da se bluetooth sistem nalazi u samom uložku. Glavni razlog je da se spreči uništenje wireless senzorskog sistema ukoliko dete slučajno udari nogom o neki predmet. Svakako je dodatna prednost i aplikacija na mobilnom telefonu koja detaljno prikazuje napredak hoda.

U drugom poglavlju je objašnjeno da je pravilan korak onaj gde se pritisak stopala prilikom kretanja raspoređuje sledećim redosledom: centralni deo pete, spoljašnji deo stopala (metatarzalna kost) i deo do nožnog palca. Tako je uređaj isprogramiran da detektuje pravilan korak upravo pomenutim redosledom. Međutim, kako uređaj da prepozna pritisak koji se stvara kada dete trči, stoji na jednoj nozi ili ako hoda na prstima ili na petama? Trenutno rešenje leži u postavci 3 – osnog akcelerometarskog i žiroskopskog senzora (slika 15) koji omogućava prepoznavanje vrste hodanja poput trčanja, stajanja na jednoj nozi i hodanje na prstima ili na petama [23]. Trenutno ne postoji dovoljno objašnjenja na koji način radi senzor i kako bi mogao da razlikuje pomenute vrste hoda. Potrebno je posebno ispitati rad 3 – osnog akcelerometarskog i žiroskopskog senzora u ulošku i ispisati kod kako da uređaj samostalno prepozna da li je korak ispravan ili nije.



Slika 15. 3 – osni akcelerometarski i žiroskopski senzor [24]

Zaključak

Ovaj rad nudi rešenje kako da se unapredi hod deteta i kako podstaći dete da to realizuje. Internet of Things, kao deo Industrije 4.0 nudi mogućnost slanja rezultata i monitoring. Za tu potrebu koriste se FSR senzori, mikrokontroler i Bluetooth mreža koja šalje rezultate na aplikaciju mobilnog telefona. Glasovna poruka sa zvukom roditelja, koju telefon emituje, igra značajnu ulogu kako bi se dete motivisalo da hoda pravilno.

Zahvalnica

U ime svih autora, zahvaljujemo se na velikoj pomoći i podršci pri izradi ovog rada celoj Katedri za električna merenja na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

Literatura

- [1] <https://www.centarsm.co.rs/saveti-primaknuto-stopalo.html>.
- [2] V. S. Jokić, Metrologija, Novi Sad: Fakultet Tehničkih Nauka.
- [3] <https://eileymet.com/2018/10/12/the-place-of-metrology-in-industry-40/>.
- [4] <https://solarbotics.com/product/50803/>.

- [5] N. Igić, Kineziološka analiza hoda, Novi Sad: Medicinski fakultet Novi Sad, Katedra za medicinsku rehabilitaciju, Kineziologija, 2015.
- [6] J. Pauk, K. Daunoraviciene, M. Ihnatouski, J. Griskevicius and J. V. Raso, "Analysis of the plantar pressure distribution in children with foot deformities," Januar 2010..
- [7] J. v. d. Pas, "A DIY Smart Insole to Check Your Pressure Distribution," Arduino Project Hub, 2018.
- [8] <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/mpc/section4/mpc451.htm>.
- [9] <https://cdn.sparkfun.com/assets/8/a/1/2/0/2010-10-26-DataSheet-FSR402-Layout2.pdf>.
- [10] V. Aleksovski, Force resistive sensor, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 2014.
- [11] www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/frsguide.pdf.
- [12] B. Nikolić and D. Bojić, Zbirka zadataka iz ekspertskih sistema.
- [13] www.raf.edu.rs/citaliste/svastara/2461-ekspertni-sistemi-1-1.
- [14] https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Ekspertski_sistemi.
- [15] P. Sovilj, Internet of Things, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- [16] <https://www.adafruit.com/product/2995>.
- [17] <https://electronics.stackexchange.com/questions/281640/what-is-the-maximum-force-that-a-fsr-sensor-can-detect>.
- [18] D. H. Willacy, "Gait abnormalities in children," *Patient*, 2019.
- [19] P. D. Dorfman, "Age of reason," *Scholastic*.
- [20] M. J. Hessert, M. Vyas, J. Leach, K. Hu, L. A. Lipsitz and V. Novak, "Foot pressure distribution during walking in young and old adults," 19 May 2005.
- [21] F. Yong, G. Yunjian and S. Quanjun, "A Human Identification Method Based on Dynamic Plantar Pressure Distribution," in *Proceeding of 2011 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, Shenzhen, China, 2011.
- [22] L. Shu, T. Hua, Y. Wang, Q. Li, D. Feng and X. Tao, "In-shoe plantar pressure measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array," 2009.
- [23] <https://www.microcontrollertips.com/orientation-sensor-combines-3-axis-gyroscope-and-3-axis-accelerometer/>.
- [24] <https://www.digikey.com/catalog/en/partgroup/me-3-axis-accelerometer-and-gyro-sensor/72722>.
- [25] <https://www.adafruit.com/product/2995>.

Abstract

This paper introduces the idea of developing a smart insole for shoes that would help children in the earliest period of their life to learn how to walk properly. Smart insole consist of 3 FSR sensors that measures the force with which the child acts on insole. Force data are sent to a mobile phone which must be with a child. If there is improper walking, the phone emits a voice message from the parent warning the child to walk properly.

Smart insole for shoes in the concept of Industry 4.0

Aleksandar Kostovski, Igor Popadić, Đorđe Polovina, Igor Milijašević, Marjan Urekar