

PAMETNA ODJEĆA ZA BOLESNIKE I REKONVALESCENTE

SMART CLOTHING IN HEALTHCARE AND CAREGIVING

Dubravko Rogale, Snježana Firšt Rogale, Marija Veldić

Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak

Pametna odjeća je, uz e- odjeću i inteligentnu odjeću, vrsta odjeće koja ima ugrađene električne i elektroničke komponente te uređaje poput mikroracunala i zaslona čime se omogućava dvosmjerna komunikacija između odjevnog predmeta i okoliša ili nositelja takve vrste odjeće. Integrirane elektroničke komponente omogućavaju, između ostalog, praćenje i motrenje vitalnih funkcija nositelja pametne odjeće. Realizacija pametne odjeće zahtjeva interdisciplinarna znanja, te se stoga u timovima koji razvijaju takvu vrstu odjeće nalaze stručnjaci iz područja tekstilnog i odjevnog inženjerstva, ali i iz područja automatizacije odnosno strojarstva, elektronike i informatike, te kemije i biologije. U ovom radu je prikazan razvoj pametne odjeće, opisani su senzori koji se mogu integrirati u odjeću u svrhu motrenja vitalnih funkcija bolesnika i rekonvalescenata. Dat je pregled postojećih primjera pametne odjeće namijenjene navedenoj ciljnoj skupini. Također su opisani i načini dobave električne energije potrebne za rad svih elektroničkih komponenata ugrađenih u odjeću. U konačnici, prikazan je studentski projekt projektiranja pametne odjeće za praćenje i motrenje signala srčanog pulsa na tzv. open source platformi Arduino. Projektiranje prototipa pametna kape koja je u stanju motriti stanje otkucaja srčanog pulsa načinjeno je na Tekstilno-tehnološkom fakultetu u Zavodu za odjevnu tehnologiju. Temeljna ideja je bila izraditi prototip odjevnog predmeta koji će, u skladu s brzim razvojem tehnologije kojom se svakodnevno susrećemo, omogućiti jednostavan i interaktivan način praćenja rada srca svakog individualnog nositelja pametne kape. Podaci otkucaja srca se mjere pomoću adekvatnog senzora, a na pametnom telefonu, putem Bluetooth-a i prikladne mobilne aplikacije, se prikazuju izmjerene vrijednosti.

Cljučne riječi: pametna odjeća, bolesnici i rekonvalescenti, signal srčanog pulsa, Arduino

Abstract

Smart clothing, also known as electronic textiles, smart garments or smart textiles, are wearables that have built-in electronic and electrical components and devices. The digital components, such as screens and microcomputers, embedded in clothing enable a two-way communication system between the wearer's environment and the wearer himself. The integrated components track and monitor the wearer's vital functions which ultimately provides added value to the wearer. The implementation of wearable technology is interdisciplinary; therefore, teams developing such clothing are made up of textile and clothing engineers, engineers in the field of automation, electronic and information technology, chemists and biologists. This paper presents a review of smart clothing used for healthcare. There is a given description of the sensors that are integrated for the purpose of monitoring vital functions in healthcare and caregiving. There is a given overview of existing examples of wearables used for monitoring vital functions and a description of how to supply components with electrical energy. As a student project, this paper shows the design of a prototype wearable for tracking and monitoring heart rate with the help of Arduino, an open-source platform that enables creating interactive electronic objects. The project is designed in the Clothing Technology department of the Faculty of Textile Technology. The underlying idea was to create a prototype that will, in accordance with the rapid development of technology, monitor the heart rate performance of each smart cap wearer. The heart rate data is measured and displayed on a smartphone via Bluetooth technology and mobile application.

Keywords: *Smart clothing, healthcare, heart rate, Arduino*

1. Uvod

1. Introduction

Integracija multifunkcionalnih vrijednosti u odjeći, koja je neizostavni dio naše svakodnevice, postaje posebno područje velike zainteresiranosti tehnologa i odjevnih inženjera. Odjeća je postala vrlo značajna platforma za high-tech inovacije 21. stoljeća, a budućnost leži u daljnjem razvoju tekstilnih i odjevnih proizvoda koji će biti u interakciji s okolišem i nositeljem. Projektiranje pametne odjeće omogućuje proizvodnju visokotehnoloških proizvoda koji će imati novi oblik ponašanja i funkcionalnosti. Na taj način konvencionalni odjevni predmet dobiva aktivan karakter i povećanu funkcionalnost. Poboljšanje kvalitete življenja, zaštita u vojne i medicinske svrhe te nesputana komunikacija samo su neke od mogućnosti koje nudi pametna odjeća. Zahvaljujući minijaturizaciji različitih ugradbenih elemenata (elektroničkih i pneumatskih komponenti, ožičenja i sabirnica) razvoj pametne odjeće je sve značajniji.

2. Razvoj pametne odjeće

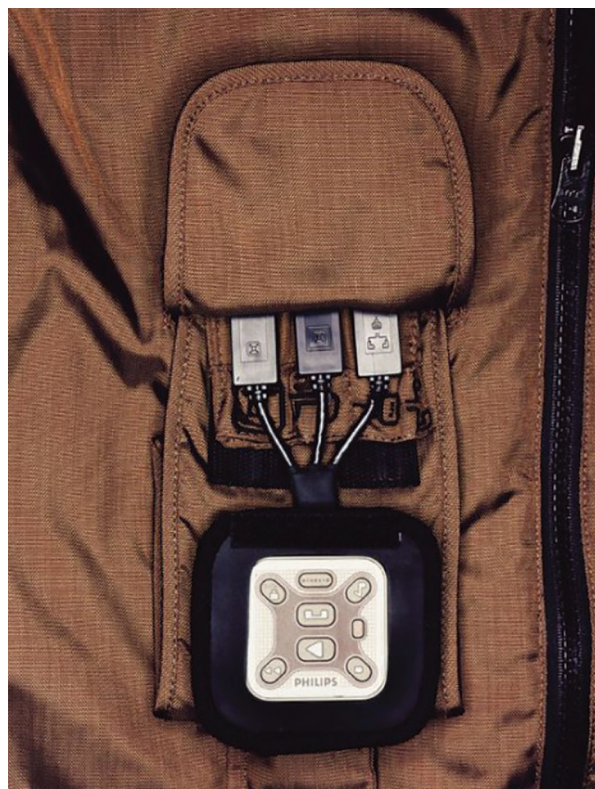
2. Development of smart clothing

Pametna odjeća definirana je kao svojstvo odjevnog predmeta koji osigurava interaktivnu reakciju koristeći signal osjetila, obradu informacija i poticanje odziva [1]. Pojavila se krajem 20. stoljeća kao nova vrsta odjeće koja je omogućila dvosmjernu komunikaciju s nositeljem odjevnog predmeta i okolišem.

Minijaturizacijom mikroracunala započela je i njihova ugradnja izravno u odjeću, primjena i ugradnja senzoričke koja je uz primjerenu programsku podršku, zaslone i komunikacijske mogućnosti omogućila tzv. proširenu stvarnost (eng. augmented reality), a uz to je mogla obavljati jednostavnije pametne zadatke za svog nositelja. Stoga je nazvana pametnom odjećom (eng. smart clothing). Za razliku od pametne odjeće, inteligentna odjeća (eng. intelligent clothing) izvodi daleko složenije i brojnije zadatke od onih koje se postavljaju pred pametnu odjeću.

Osnovno svojstvo joj je mogućnost razabiranja stanja u okolišu, ispravna interpretacija tog stanja, donošenje racionalne odluke o novoj prilagodbi karakteristika odjevnog predmeta spram eventualnih promjena u okolišu i, što je najvažnije, automatska provedba te prilagodbe primjenom ugrađenih izvršnih naprava u odjeći. Osnovno svojstvo inteligentne odjeće predstavlja njena smisljena autonomna prilagodba kao odziv na uočene promjene u okolišu te time iskazuje, zasada, jednostavne načine inteligentnog ponašanja. U skladu s time odjeća sama mijenja i podešava svoje karakteristike kako bi svom nositelju stvorila optimalne uvjete nošenja [1]. Razvoj pametne odjeće može se razmatrati kroz četiri stupnja. Prvi stupanj razvoja pametne odjeće (1980.-1997.) odnosi se na nastojanje da se već tada minijaturizirana računalna sklopovlja dodatno minijaturiziraju, a rezultati su više prenosive (eng. portable) naprave nego nosive (eng. wearable), ali nisu komercijalizirane.

U drugom stupnju razvoja (1998.-2001.) počela je suradnja modnoga i tekstilnog sektora u razvoju prvih nosivih prototipova pametne odjeće.



Slika 1 Središnji upravljački modul ugrađen u Levisovu jaknu [2]

Figure 1 Control module embedded in a Levis jacket [2]

U suradnji tt. Philips i tt. Levis projektirana je jakna s posebnim džepovima, u koje su smješteni mobitel, MP3 player i slušalice, te ugrađenim kanalima za ožičenja, slika 1. Središnji upravljački modul povezo je sve uređaje kako bi nositelj mogao koristiti, prema svojim željama i potrebama, jedan ili drugi uređaj. Na Georgia Tech razvili su odjevnu računalnu matičnu ploču (eng. Wearable Motherboard) koja je u počecima razvoja bila namijenjena za vojne borbene uvjete.

U trećem stupnju razvoja pametne odjeće (2002.-2005.) naglasak je bio na definiranju potreba korisnika i mogućnosti modne industrije. Pristup se počeo mijenjati od tehničkog rješavanja problema prema zadovoljavanju potreba korisnika. Minijaturizacija elektroničkih naprava stvorila je mnoge mogućnosti pri postignućima bolje pokretljivosti i lagodnosti nošenja naprava, dok su se tehničke funkcije i dalje povećavale.

U četvrtoj fazi razvoja pametne odjeće (2006. -) odjeća nije ograničena s obzirom na rukovanje nositelja takve odjeće. Elektronički sklopovi i uređaji, integrirani u pametnu odjeću, omogućili su prihvatanje, analizu i transformaciju informacija iz okoliša, kako bi bile od pomoći nositelju pametne odjeće. Naglasak se daje na tvorbu obnovljive energije i odjevnih energetskih izvora (engl. wearable energy sources) počevši od sunčeve energije ili kinetičke energije gibanja nositelja odjevnog predmeta.

U četvrtom razdoblju je na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu grupa istraživača počela razvijati inteligentnu odjeću s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima [3]. Do sada su razvili tri generacije funkcionirajućih prototipova. Nakon brojnih tehničkih usavršavanja prve i druge generacije razvijena je treća generacija inteligentne odjeće, slika 2, koja ima integrirani tehnički podsustav za automatsko podešavanje razine termičke izolacije na temelju algoritma inteligentnog ponašanja ili manualno prema subjektivnom osjećaju nositelja takve odjeće.

Bazna arhitektura treće generacije inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima temelji se na sustavu senzori-računalo-aktuatori. Senzori prate stanje vanjskog okoliša inteligentne odjeće, stanje unutar mikroklimatne inteligentne odjeće, kao i trenutačno stanje tehničkih podsustava ugrađenih u inteligentnu odjeću.

Podatke prikupljene senzorima interpretira ugrađeno računalo, na temelju tih podataka donosi zaključke o stanju okoline, promjenama u okolini i donosi odluke o potrebnim promjenama kako bi odjevni predmet reagirao i prilagodio se promjenama u okolišu. Na temelju odluke o potrebnoj reakciji odlučuje se još o brzini i intenzitetu reakcije, a potom se ona izvodi primjenom aktuatora, u ovom slučaju o punjenju ili pražnjenju zraka iz termoizolacijskih komora, čime one mijenjaju svoju debljinu, odnosno termoizolacijska svojstva. Nakon izvedene prve reakcije i prilagodbe, računalo preko senzora ocjenjuje uspješnost prilagodbe i po potrebi izvodi sljedeću reakciju kako bi termoizolacijska svojstva inteligentnog odjevnog predmeta još bolje prilagodio uvjetima okoliša i fizičkoj aktivnosti nositelja.



Slika 2 Treća generacija inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima

Figure 2 The third generation of intelligent clothing with adaptive thermal insulation properties

Treća generacija inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima temelji se na potpunoj minijaturizaciji i integraciji ugrađenih tehničkih podsustava te na modificiranju rebraste u kvadratičnu strukturu ekspandirajućih komora [3].

3. Senzori za ugradnju u pametnu odjeću 3. Sensors for embedded in smart clothing

Senzori svoj rad temelje na fizikalnim ili kemijskim zakonitostima, a prema S. Gahide i sur. [4] za sada je poznato oko 350 takvih efekata, od kojih se većina može koristiti za senzorske tehnologije u području tekstila i odjeće.

Tablica 1. Podjela skupina senzora pogodnih za pametnu i inteligentnu odjeću**Table 1.** Overview of sensors used in Smart clothing

Tip senzora	Mjerna veličina	Korištenje u inteligentnoj odjeći
mehanički	pozicija, sila, brzina, ubrzanje, masa, pomak, oblik	detekcija ljudi i predmeta u prostoru, određivanje pozicije, težine kretanja
akustički	intenzitet zvuka, frekvencija, faza	detekcija zvuka, interpretacija govora
biološki	srčani puls, tjelesna temperatura, krvni tlak, moždana aktivnost (EEG), srčana aktivnost (EKG), respiracija	mjerenje zdravstvenog stanja tijela, mentalnog stanja, fizičkog stanja i aktivnosti
optički	intenzitet svjetla, frekvencijasvjetla, ogib	računalna vizualizacija prostora, infracrvena detekcija nazočnosti i gibanja
motrenje okoliša	temperatura zraka, vlažnost zraka, brzina strujanja zraka, prozirnost zraka	mjerenje stanja u okolišu u kojem se nalaze ljudi

U skladu sa šest energetske oblike postoje sljedeća područja primjene i mjerenja za:

- mehaničke parametre – mjerenja duljina, površina, volumena, zakretnog momenta, sile, linearne i kutne brzine, akceleracije, protoka, akustične valne duljine i intenziteta;
- kemijske parametre – elektrokemijska mjerenja, potenciometrijska, mjerenja koncentracije, spektroskopije, enzimatske selektivnosti, poluvodička osjetila, kalorimetrija;
- toplinske parametre – temperatura, entropija, toplinski tok, relativna vlažnost;
- električne parametre - mjerenja napona, struje, količine naboja, otpora, induktiviteta, kapaciteta, dielektrične konstante, polarizacije, jakosti električnog polja, frekvencije, dipolnog momenta;
- magnetske parametre – jakost polja, gustoća magnetskog toka, magnetski moment, permeabilnost;
- parametara elektromagnetskog vala - intenzitet, faza, valna duljina, polarizacija, refleksija, transmisija, indeks loma.

Prema A. Viseu može se koristiti neznatno modificirana podjela senzora pogodnih za pametnu i inteligentnu odjeću, prikazana u Tab. 1 [5].

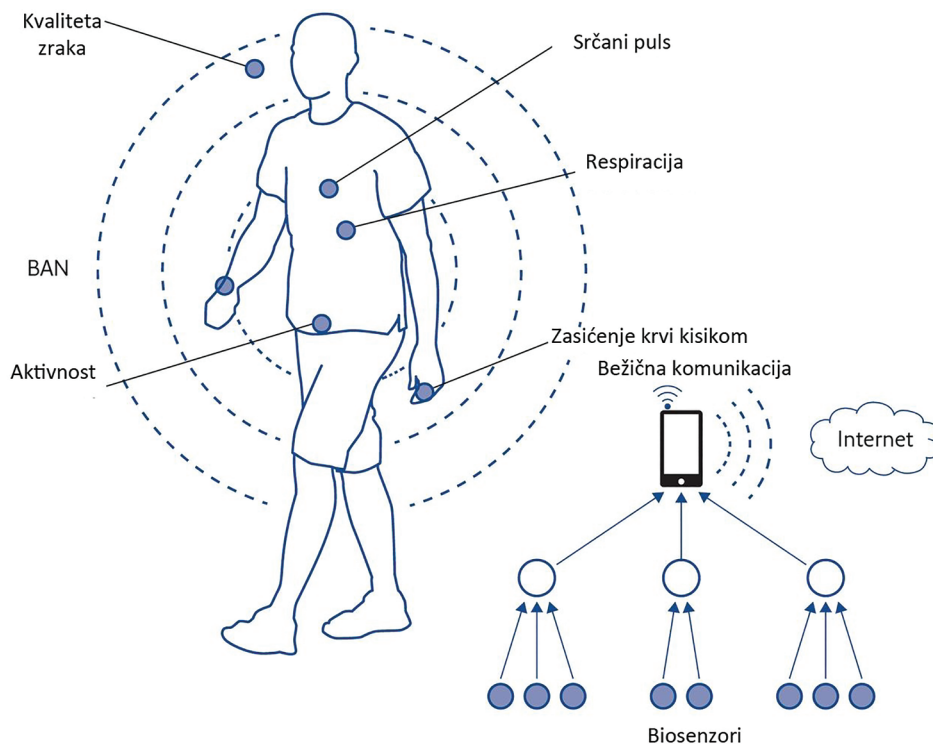
Iako je na području nanosenzorike učinjen velik napredak, osobito na području minijaturizacije, kod aktuatora tek valja poraditi na njihovoj primjeni u pametnom tekstilu. Razvojne teškoće očekuju se u području povećanja sila koje će aktuatori razvijati i zaštititi tako malih mehanizama ugrađenih u tekstil jer će raditi u relativno nečistim uvjetima (i mala zrnca prašine mogu onemogućiti rad sličnih mehanizama), uvjetima povećanih vlažnosti, temperatura, a biti će izloženi i razmjerno velikim silama [1].

4. Pametna odjeća za bolesnike i rekonvalescente

4. *Smart clothing in healthcare and caregiving*

Ciljne skupine korisnika pametne odjeće su vojska, radnici, menadžeri, sportaši i rekreativci, te vrlo značajna ciljna skupina bolesnici i rekonvalescenti, koji pametnu odjeću koriste u cilju praćenja svog zdravstvenog stanja ili radi provođenja određene terapije.

U tipičnoj arhitekturi pametne odjeće za bolesnike i rekonvalescente, slika 3, integrirani su biosenzori za praćenje vitalnih funkcija nositelja. Očitani podaci prenose se bežično na udaljena mjesta. Mjerenja se mogu pohraniti na mobilni uređaj ili odaslati, putem interneta, na računalo liječnika bez obzira na lokaciju pacijenta.



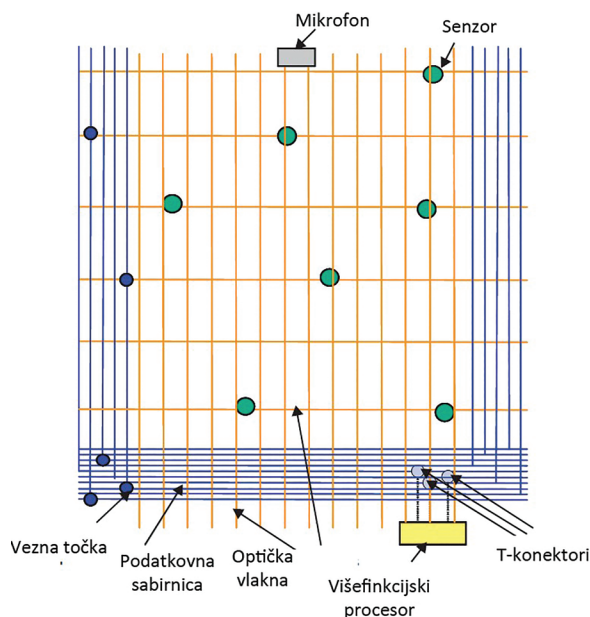
Slika 3 Arhitektura pametne odjeće za bolesnike i rekonvalescente [6]

Figure 3 Schematic showing elements used in wearables for healthcare [6]

SmartShirt je pametna majica izrađena kao odjevna računalna matična ploča (engl. Wearable motherboard) u koju su utkana optička vlakna i temeljna vezna rešetka, podatkovne sabirnice te višefunkcijsko računalo. Na temeljnu rešetku se povezuju senzori i ostale električne ili elektroničke naprave, slika 4. Informacije o vitalnim funkcijama nositelja prenose se elektroničkim putem na monitor liječnika. Dobivene informacije mogu pomoći liječnicima da odrede efekte tretmana i mogu pomoći liječnicima da odlučuju kako da poboljšaju terapijske postupke, a također su od vitalnog značaja za procjenu potrebe prve pomoći tijekom takozvanog zlatnog sata.

Odjevna računalna matična ploča razvijena na Georgia Institute of Technology može se koristiti na nekoliko različitih slučajeva [8]:

1. GTWM-C (engl. Georgia Tech Wearable Motherboard Combat casualty care) za praćenje vojnika u borbenim akcijama,
2. GTWM-M (engl. Georgia Tech Wearable Motherboard Monitoring Mode,) medicinskog praćenja stanja bolesnika
3. GTWM-P (engl. Georgia Tech Wearable Motherboard Personal Information Processing Mode) za osobnu obradu informacija.



Slika 4 Odjevna računalna matična ploča [7]

Figure 4 Wearable motherboard [8]

LifeShirt je majica koja se nosi uz tijelo, a sastoji se od EKG sonde, osjetila stava tijela, vrpce za mjerenje respiracijskog odnosa i broja udisaja te abdominalne vrpce s mogućnošću respiracijskih mjerenja, kao i osjetila za prikupljanje podataka o tjelesnoj temperaturi, temperaturi kože, krvnom tlaku, razini kisika u krvi, razine CO₂ i sl., slika 5. Prikupljeni podaci pohranjuju se na memorijskoj kartici instaliranoj u uređaju priključenom na odjeću [9].



Slika 5 Life Shirt [10]

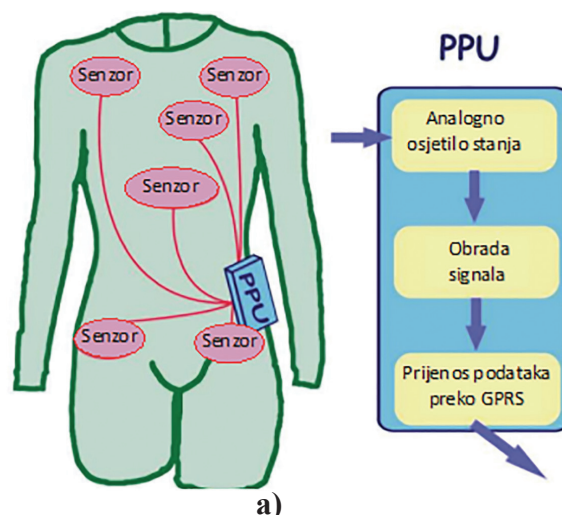
Figure 5 Life Shirt [10]

U Wealthy odjevni sustav (eng. Wearable Health Care System), slika 6, su integrirani senzori za EKG i temperaturni senzori (s točnošću od $\pm 0,5$ oC) [11]. Trbuh i ruke su opremljeni s piezoresistivnim osjetilima za detekciju pokreta tijela. Preko prijenosnog elektroničkog uređaj (eng. Portable Wealthy unit) prenose se podaci u realnom vremenu preko GPRS veze na osobno računalo liječnika ili korisnika [12].

U Instituto de Engenharia Electrónica e Telemática de Aveiro (IEETA), Portugal [13] razvijena je pametna odjeća (donje rublje, odjeća za sportaše, djecu i dojenčad) tzv. Vital Jacket kojom se kontinuirano prati elektrokardiogram (EKG) tijekom 72 sata, slika 7. Vital Jacket sadrži laganu (50 g) kutiju (66x38x16 mm) u kojoj se nalazi digitalni snimač smješten u unutrašnji džep.

Podaci se interpretiraju na jednostavan način, tako da je vrlo jednostavno ne samo za liječnike nego i za nositelja takvog odjavnog predmeta. Razvijene su dvije verzije: HWM100 koji pohranjuje podatke na SD memorijsku karticu za naknadnu analizu na računalo i HWM200 koji omogućuje on-line slanje podataka putem Bluetootha na pametne telefone.

Jedna od novijih metoda određivanja nivoa glukoze u krvi je korištenje bioimplantata koji bi se ugradili ispod kože minornim kirurškim zahvatom. Na slici 8, prikazano je pametno donje rublje namijenjeno za oboljele od dijabetesa [14]. Rublje sadrži senzore za praćenje EKG, temperature tijela, respiraciju, krvni tlak i sl. Biosenzor glukoze, ugrađen ispod pacijentove kože, prati nivo glukoze u krvi.



a)



b)

Slika 6 Wealthy odjevni sustav: a) pregled modula u sustavu; b) EKG elektrode (E) i impedancijske disajne elektrode (I) ugrađene u odjevnom sustavu

Figure 6 Wearable Health Care system a) Module layout b) ECG electrodes (E) and impedance electrodes built into the wearable system

Preko odašiljača prenose se podaci o pacijentovom stanju na dlanovnik ili mobilni telefon, a zatim na osobno računalo liječnika, staratelja ili računalo samog pacijenta. Ukoliko je izmjereni nivo glukoze u krvi izvan dopuštenih granica (previsok ili prenizak) oglasi se alarm.

Princip rada pametne majice za praćenje brzine disanja nositelja prikazan je na slici 9. Senzor disanja je ušiven, u visini prsnog koša, u majicu izrađenu od elastičnog materijala te prati kretanje prsnoga koša inducirajući deformaciju oblika spiralne tekstilne antene. Senzor prati pokrete prsnog koša, odnosno uzdisaje i izdisaje, tako da se prenosi signal tijekom udaha te se bežično prenosi od bazne stanice [15].



Slika 7 Vital Jacket Figure

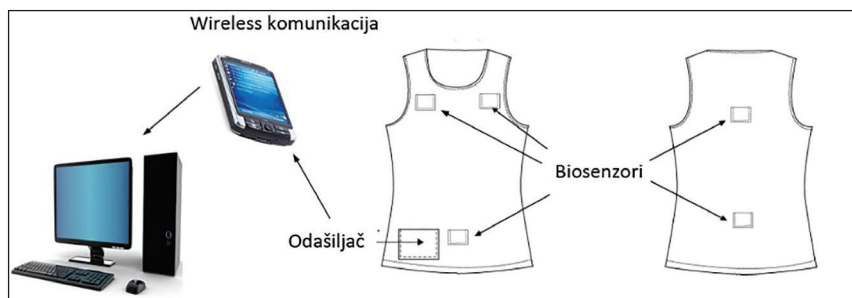
Figure 7 Vital Jacket

Senzor je formiran spiralnom antenom načinjenom od više vlakana povezanih s kompaktnim odašiljačem. Na temelju frekvencije rezonancije antene približno 2,4 GHz, senzor disanja šalje podatke preko Bluetooth odašiljača. Osjetilni mehanizam sustava temelji se na detekciji signala amplitude koju bežično prenosi senzor. Disanje (bez obzira da li je sporo, brzo, nepravilno, plitko) se bilježi unutar frekvencijskog intervala od 0,16-1,2 Hz, što se odnosi na brzine disanja koja variraju od 10 do 72 udaha u minuti.

Na slici 10 prikazan je sustavu za praćenje otkucaja srca. Sustav je bežičan i ne zahtijeva kontakt s kožom. U odjevni predmet integriran je RFID koji se sastoji od nosača podataka (tzv. transponder) i čitača podataka s tkanom antenom. RFID radi s slabim elektromagnetskim valovima koji se očitavaju pomoću čitača. Nosač podataka sadrži tkanu antenu i senzore, a napaja se elektromagnetskom energijom s tzv. čitača (plava strelica). Zatim povratni signal očitava vrijednosti senzora koje se šalju u čitač (crvena strelica) kako bi se omogućila dostupnost podataka o otkucajima srca pacijenta.

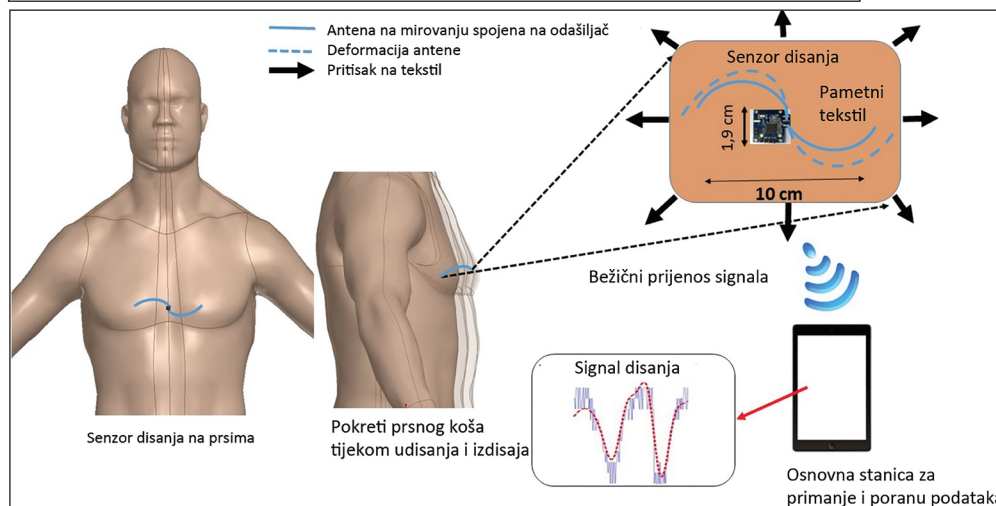
Slična arhitektura pametne odjeće, kao i za bolesnike, može se koristiti i za drugu skupinu korisnika pametne odjeće, a to su sportaši i rekreativci, slika 11.

Gluhoslijepe osobe u komunikaciji koriste, između ostalog i Lorm abecedu na način da dodiruju određene točke na dlanu koje predstavljaju određeno slovo [17]. Berlinski Design Research Lab razvija inovativnu rukavicu nazvanu Mobile Lorm Glove koja služi gluhoslijepim osobama komunicirati upravo pomoću Lormove abecede, slika 13.



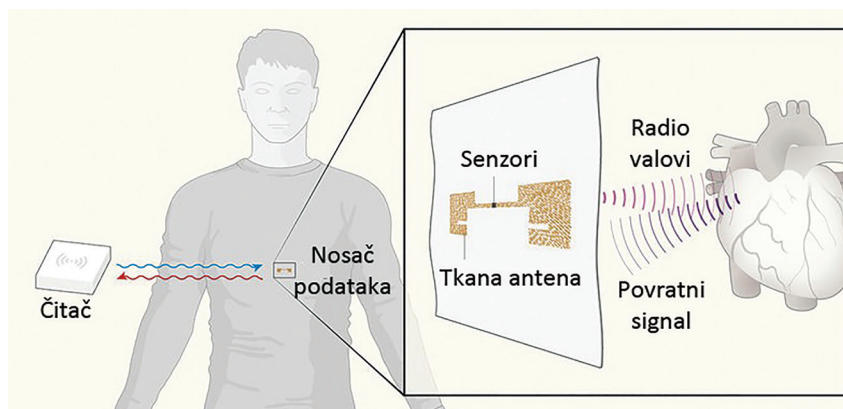
Slika 8 Pametno rublje za pacijente oboljele od dijabetesa [14]

Figure 8 Wearable used for monitoring diabetes [11]



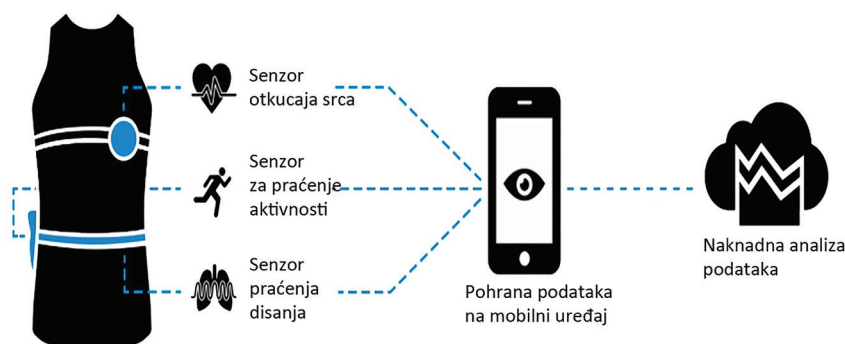
Slika 9 Pametna majica za praćenje brzine disanja [15]

Figure 9 Wearable used for monitoring respiratory rate [12]



Slika 10 Pametna odjeća za praćenje otkucaja srca [16]

Figure 10 Wearable used for monitoring heart rate [13]



Slika 11 Arhitektura pametne odjeće za sportaše i rekreativce [19]

Figure 11 Schematic showing wearable technology used in sportswear [14]

Osobe koje nose ovu rukavicu mogu poslati poruke s dlana na mobitel ili računalo, koje ih pretvaraju u riječi. Odgovori na njihove poruke se zatim prevode na Lorm, a korisnicima stižu u obliku vibracija na ruci. Sound Shirt je odjevni premet namijenjen ljudima s oštećenim sluhom, kako bi osjetili ljepotu glazbe. Preko mikrofona se prikupljaju zvukovi osam različitih tipova instrumenata koji se nalaze na točno određenim mjestima na pozornici, slika 12 a). Softver ih prevodi u podatke koji se bežično šalju na Sound Shirt kako bi 16 mikroaktuatora, ušivenih u odjevni predmet, slika 12 b), vibrirali određenim intenzitetom i time omogućili pravi simfonijski koncert za gluhe, čineći ga nezaboravnim iskustvom [18].

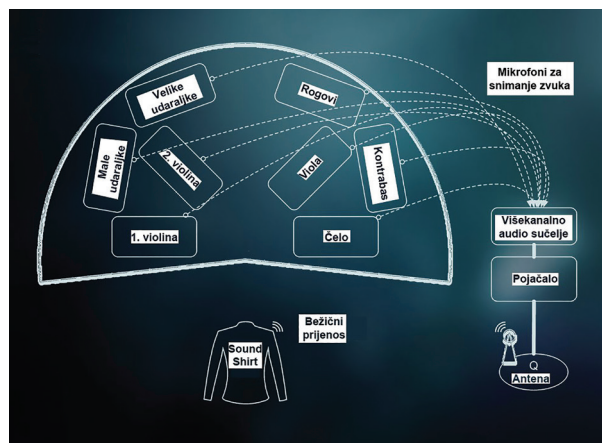
Sindrom iznenadne dojenačke smrti (SIDS) je rijetka pojava kada zdravo dojenče, najčešće na spavanju, prestane disati. Uzrok tom sindromu je još uvijek nepoznat. Uz SIDS poznat je i Sindrom izbjegnute iznenadne smrti dojenčeta ili, kako se danas još naziva, očevidan životno opasan događaj - ALTE (apparent life threatening event) kod kojeg se dojenče nakon prestanka disanja uz cijanozu ili bljedilo, odsutnost aktivnosti djeteta, tjelesnu mlohavost i bradikardiju oporavi spontano ili uz mjere reanimacije [20].

Kako bi se omogućilo rano otkrivanje potencijalnih događaja koji ugrožavaju život i zahtijevaju spašavanje, kao i prepoznavanje razvoja ili napredovanja bolesti u ranoj fazi, razvijen je dječji prsluk za praćenje zdravstvenog stanja dojenčadi. Sensory baby vest [21] za kontinuirano praćenje dojenčadi u kliničkim i kućnim uvjetima, slika 14. U prsluku su integrirani senzori za praćenje disanja, brzine otkucaja srca, temperature i vlažnosti (za otkrivanje pretjeranog znojenja).

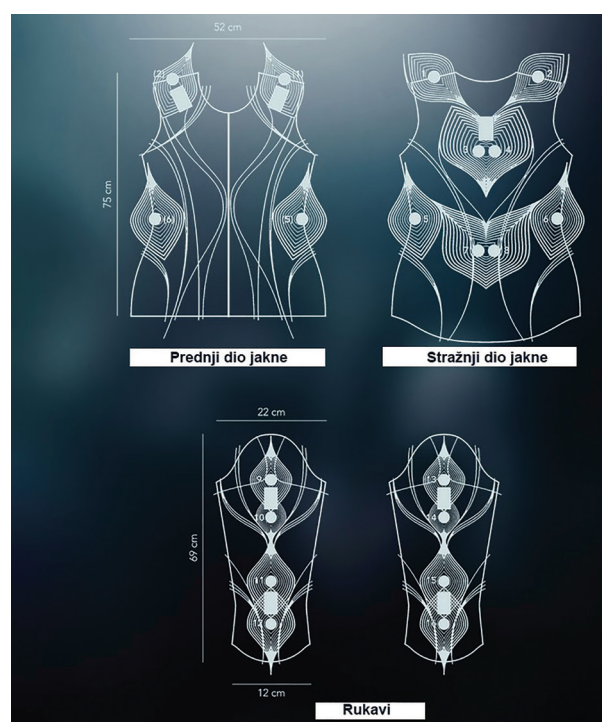
5. Napajanje elektroničkih uređaja ugrađenih u pametnu odjeću

5. Power supply for electronic devices embedded in smart clothes

Snaga potrebna za napajanje elektroničkih uređaja koji se ugrađuju u pametnu i inteligentnu odjeću je od 1-3 W. Razni oblici energije iz okoliša se mogu koristiti za napajanje elektroničkih uređaja koji se ugrađuju u pametnu i inteligentnu odjeću, poput ambijentalnog svjetla (svjetla od umjetnih izvora svjetlosti u zatvorenim prostorima), energija radiovalova iz okolišnog prostora, vibracijskih mikrogenerators, ambijentalnog protoka zraka, aktiviranjem tipaka na tipkovnicama i dr.



a)



b)

Slika 12 Sound Shirt: a) mikroaktuatori smješteni u jakni; b) tehničke postavke jakne [18]

Figure 12 Sound Shirt a) microactuators placed in a jacket b) technical settings of jackets

Međutim, osim izravnog sunčevog svjetla, snaga spomenutih izvora je premala za ozbiljnije primjene te se svodi na napajanje samo onih sklopova za čiji rad je potrebna iznimno mala snaga. Jedan od najčešćih izvora za napajanje inteligentne i pametne odjeće je pretvorba mehaničke energije hodanja u električnu energiju, pri čemu se koristi piezoelektrički efekt, nanotriboelektričke, termoelektričke, elektromagnetske i elektrostatičke pojave. Najveće količine električne energije mogu dobiti primjenom elektromagnetskih pojava [22].



Slika 13 Mobile Lorm Glove za komunikaciju gluhoslijepih osoba pomoću Lormove abecede

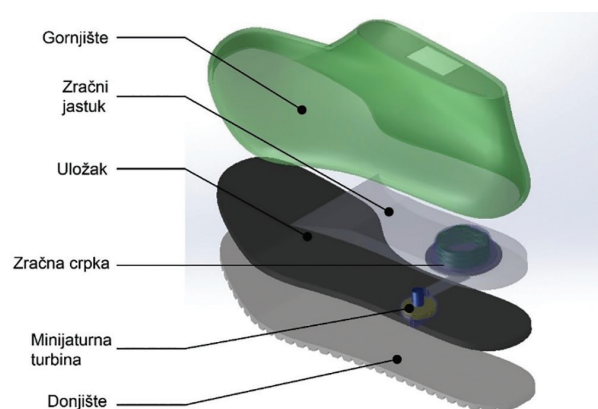
Figure 13 Mobile Lorm Glove used for communicating with Lom's alphabets



Slika 14 Sensory Baby Vest za praćenje zdravstvenog stanja dojenčadi

Figure 14 Sensory Baby Vest used for monitoring infant health status

Shen J. i suradnici [23] eksperimentirali su sa linearnim generatorom električkog napona koji se sastoji od zavojnice smještene uzduž donjišta obuće, slika 15. Unutar zavojnice nalazi se permanentni magnet koji se pomiče uzduž zavojnice tijekom hodanja te na taj način inducira elektromotornu silu koja se pojavljuje na stezaljkama zavojnice. Budući da je inducirani napon izmjenični, autori ga ispravljaju diodnim mostnim spojem i filtriraju elektrolitskim kondenzatorom. Utvrdili su da inducirani napon prelazi vrijednost od 1.2 V tako da može učinkovito puniti bateriju nazivnog napona od 1.2 V. Ando J. H. i suradnici koriste način generiranja napona u obući primjenom piezoelektričkog efekta [24]. U tu svrhu načinili su uložak s više slojeva piezoelektričkih pločica, slika 16.



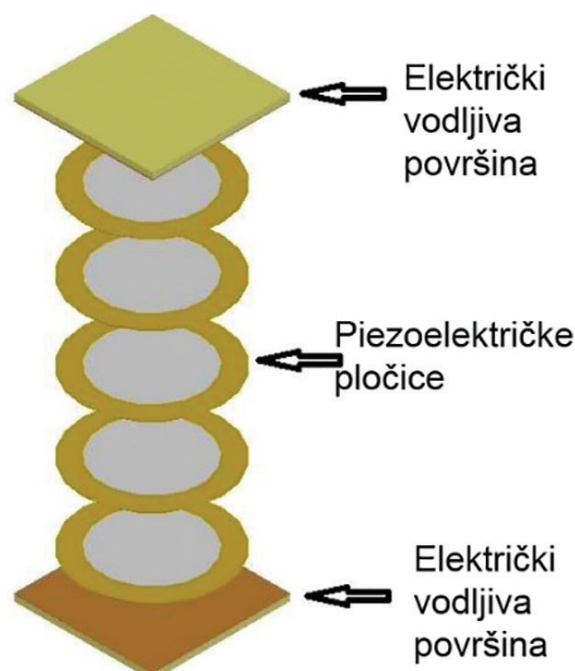
Slika 15 Obuća sa zračnim jastučićem [23]

Figure 15 Energy harvesting footwear [20]

Poznata je reverzibilnost piezoelektričkog efekta: pod silom piezoelektrički kristali generiraju napon i obratno, podvrgnuti naponom mogu proizvesti silu. Višeslojne piezoelektričke pločice autori su ugrađivali u uložak obuće, slika 16, na sedam mjesta i prikupljali inducirani električki naboj nastao hodanjem. Utvrdili su vršne vrijednosti napona od 6 V i vršnu snagu od 3,6 mW.

Do sada najjači i najučinkovitiji izvor električne energije tijekom hodanja predstavlja nošenje ruksaka. Na University of Pennsylvania su razvili leđni nosač s vodilicama na kojima se nalazi ruksak s teretom [25]. Prilikom hodanja teret pravocrtno poskakuje uzduž vodilica, a poskakivanje se prenosi pomoću nazubljene letve na zupčanik rotora električnog generatora pretvarajući na taj način pravocrtno gibanje vodilice u kružno gibanje zupčanika i rotora generatora.

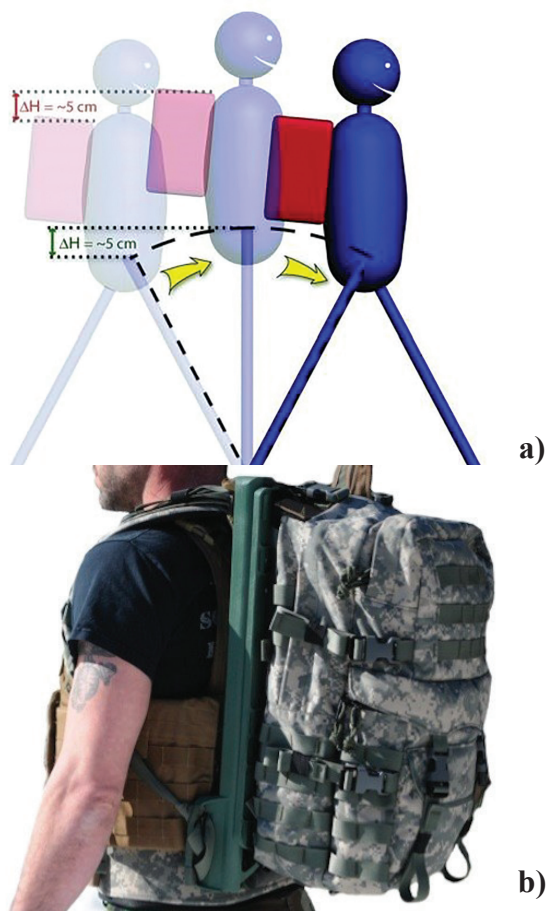
Utvrđeno je da se nošeni teret mase 10 kg tijekom nošenja pomiče na vodilicama do 5 cm od ravnotežnog položaja, slika 17 a). Prosječna snaga generatora iznosi oko 7 W. Nošenjem tereta mase od oko 25 kg pri hodanju na ravnom terenu razvija se električna snaga od 12-15 W, pri hodanju po izrazito neravnom terenu 20-35 W, a pri trčanju snaga do 40 W. Ovaj leđni nosač, slika 17 b) namijenjen je vojnicima, planinarima i td. koji prevažuju veću udaljenost noseći pri tom veći teret na leđima [26].



Slika 16 Ugradnja piezoelektričkih pločica u uložak cipele [27]

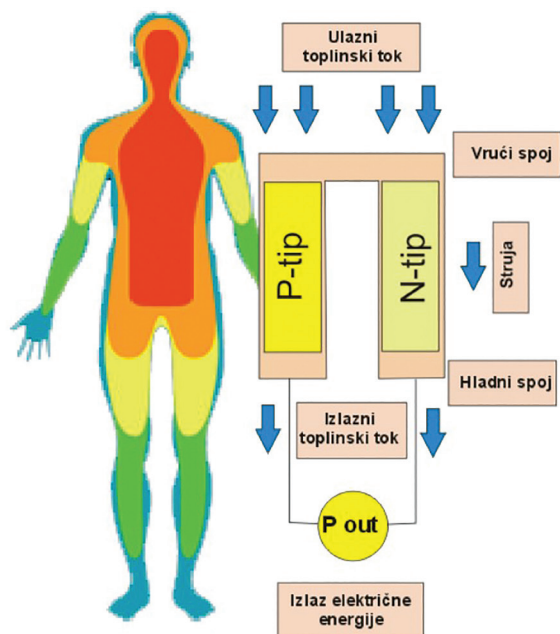
Figure 16 Piezoelectric transducer embedded in a shoe [22]

Vođeni činjenicom da ljudsko tijelo, ovisno o fizičkoj aktivnosti, može razvijati snagu između 100 i 1000 W stručnjaci tt. Infineon su termografskim postupkom utvrdili mjesto na tijelu gdje razlika temperatura između kože i odjevnog predmeta postiže vrijednost između 2 i 17 °C te su razvili male termogeneratore koji iskorištavaju temperaturne razlike između površine ljudskog tijela i okoliša pretvorbom toplinskog toka u električnu energiju, slika 18. Do sada je postignuta snaga od 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ [28]. U tt. Infineon dokazali su da je primjenom minijaturnih poluvodičkih generatora moguće napajati električnom energijom senzore srčanoga pulsa, krvnog tlaka ili tjelesne temperature i bežično ih odašiljati do ručnog sata nositelja pametne i inteligentne odjeće gdje se ti podaci prikazuju na zaslonu.



Slika 17 Leđni nosač s vodicicama, tzv. Lightning Packs [25]

Figure 17 Electricity-generating backpack via kinetic movement, Lightning Packs [23]



Slika 18 Prikaz postupka pretvorbe tjelesne topline u električnu energiju pomoću poluvodičkih termogeneratora [28]

Figure 18 Semiconductive thermogenerators used for transforming body heat to electricity [25]

6. Projektiranje prototipa pametna kape za motrenje otkucaja srčanog pulsa

6. Designing a prototype of a smart cap for heart rate monitor

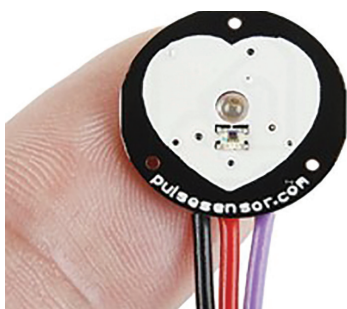
U Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta pristupilo se projektiranju pametne kape za praćenje srčanog pulsa bolesnika i rekonvalescenata tzv. open source platformi Arduino [29]. Arduino mikrokontroleri sadrže kombinaciju RAM memorije, flash memorije te ulazne i izlazne jedinice [30]. Mikroprocesor Lilypad Simblee BLE [31] korišten je u ovom radu kao nosiva razvojna ploča koja omogućava povezivanje s pametnim telefonom putem Bluetooth-a. Simblee je uređaj koji se može programirati u programu Arduino IDE a za razliku od ostalih BLE uređaja, Lilypad Simblee BLE ne zahtijeva stručno znanje za razvoj aplikacije.

Korišteni senzor otkucaja srca oznake SEN-11574, slika 19, [32] je tzv. plug-and-play senzor koji radi na Arduino platformi, a bilježi brzinu otkucaja srca i izražava ih u obliku izmjeničnog napona reda veličine u milivoltima (mV). Senzor mjeri brzinu otkucaja srca tako da pronalazi uzastopna razdoblja srčanog pulsa i mjeri razliku između svakog otkucaja. Razdoblje između svakog otkucaja naziva se engl. Inter-Beat Interval (IBI) [33]. IBI se mjeri tako da se bilježi vrijeme u trenutku kada signal prijeđe 50% amplitude a zatim se brzina otkucaja srca pretvara u otkucaje po minuti kao prosjek prethodnih 10 IBI-a. Senzor temelji svoj rad na mjerenju refleksije prokrvljenog i neprokrvljenog tkiva kože čovjeka. U trenutku kada srce ubrizgava krv u žile prokrvljenost tkiva je veća, a kad miruje prokrvljenost je manja. Senzor posjeduje emitirajuću LE diodu koja obasjava tkivo i prijemnu svjetlosnu diodu koja mjeri refleksiju. Na temelju razlika u refleksiji tkiva može se određivati puls srca.

Komunikacijska tehnologija predstavlja vrlo važan element pametne odjeće. U realizaciji ovog rada komunikacija se odvija

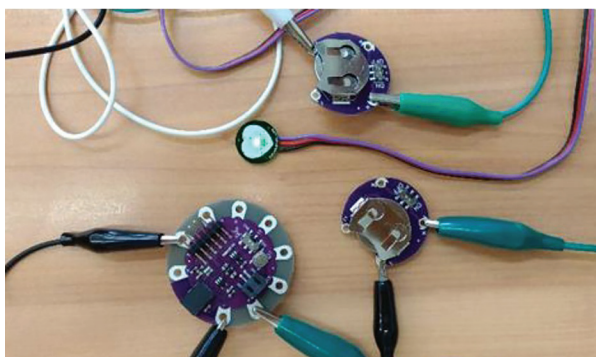
1. unutar pametnog odjevnog predmeta (komunikacija između ugrađenih komponenti),
2. između pametnog odjevnog predmeta i nositelja tog odjevnog predmeta (preko mikroračunala i zaslona pametnog telefona)

Najprikladniji način povezivanja je povezivanje putem Bluetooth uređaja, koji su kratkog dometa, ali vrlo sigurni.



Slika 19 Senzor otkucaja srca

Figure 19 Heart rate sensor

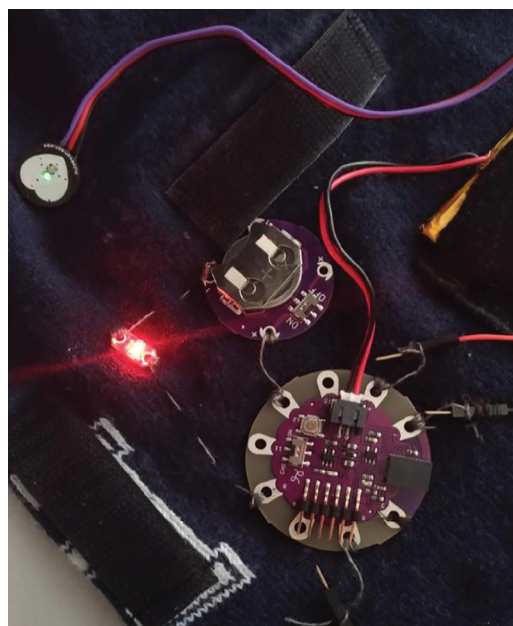


Slika 20 Povezivanje Lilypad Simblee BLE, senzor i baterije

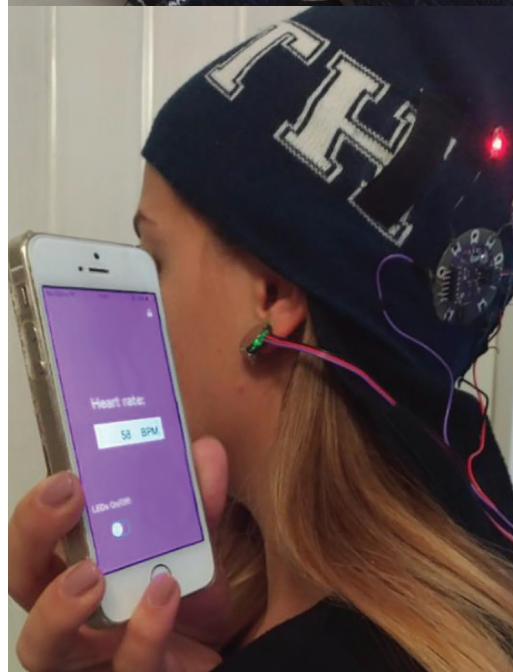
Figure 20 Lilypad Simblee BLE, heart rate sensor and battery

Proces programiranja koda je izuzetno olakšan zahvaljujući jednostavnom i otvorenom pristupu Arduino platforme. Internetska stranica GitHub [34] je razvojna platforma čiji se sustav temelji na radovima i projektima znanstvenika, studenata, kreativaca, umjetnika i slično. GitHub je sustav koji omogućuje stvaranje programa, pregled i upravljanje istih te je stvoren s ciljem kako bi surađivali, učili i unapređivali jedni od drugih. U procesu istraživanja kodova i načina programiranja proučeni su vrlo slični projekti gdje je, upravo zahvaljujući otvorenom pristupu, omogućeno korištenje i prilagođavanje programa. Naziv programa korišten u ovom radu je Fitness bracer [35]. Program je prilagođen potrebama projektiranja pametne kape za praćenje signala srčanog pulsa. Nakon programiranja uslijedila je provjera rada programa, senzora te aplikacije. Sučelje SimbleeForMobile koji je korišten unutar programa omogućuje spajanje Simblee mikrokontrolera s prikladnom Simblee aplikacijom koja se nalazi na Google Play ili Apple Storeu.

Uspješno preuzimanje Simblee aplikacije ostvaren je pomoću IOS operativnog sistema. Za uspješno povezivanje senzora i Lilypad Simblee BLE mikrokontrolera korišteni su savitljivi žičani vodovi kako bi se prenio električni signal sa senzora na mikrokontroler. Nakon provjere rada svih komponenti pristupilo se integraciji svih elemenata u pametnu kapu za praćenje signala srčanog pulsa slika 21.



a)



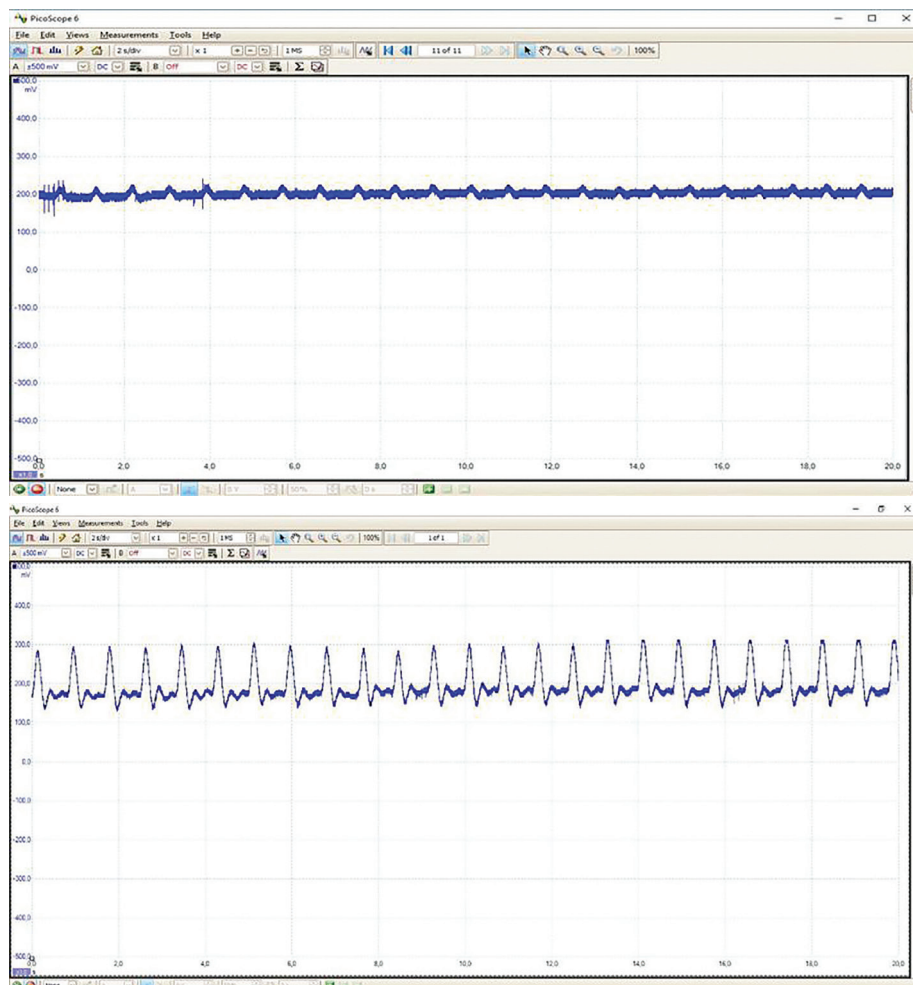
b)

Slika 21 Pametna kapa za praćenje signala srčanog pulsa: a) Unutrašnjost pametne kape s integriranim elementima; b) Prikaz srčanog pulsa na pametnom telefonu

Figure 21 Smart cap used for monitoring heart rate a) Elements intergrated inside the Smart cap; b) Heart rate displayed on a smartphone

Pri mjerenju otkucaja srca te prateći rezultate na aplikaciji, u pojedinim trenutcima, dobiveni su netočni i nepouzdana podaci u odnosu na standardni broj otkucaja srca po minuti, koji kod odrasle osobe odgovara broji između 60 do 100. Problem nastaje zbog nepreciznog broja otkucaja srca i velikih odstupanja. Senzor je zatim ispitan na digitalnom osciloskopu kako bi se dobila informacija o električnom signalu i promjene signala tijekom određenog vremenskog perioda. Dakle, u ovisnosti o naponu i vremenu dobiva se oblik koji se može pratiti na zaslonu osciloskopa. U ovom radu korišten je osciloskop tt. PicoScope kako bi se ispitala pouzdanost senzora, utjecaj i važnost napajanja te različite valne oblike dobivene od različitih ispitivanja. Ispitivanjem senzora na osciloskopu dokazano je da napajanje i vrsta napajanja utječe na jačinu signala koji senzor dobiva ali i na prienos tih podataka. Kada je senzor spojen na mikrokontroler čije je napajanje izvedeno preko USB kabela dobiven je jači prikaz pulsa nego kada je napajanje bilo pomoću ugrađene baterije od 3 Volta.

Iz sljedećih grafičkih prikaza (slika 10) vidljiv je utjecaj napajanja na senzor, slika 22 prikazuje rad senzora kada se senzor i mikrokontroler napajaju koristeći samo bateriju. Iz slike 23 vidljiv je rad senzora kada je mikrokontroler uključen na USB kabel čije napajanje je postignuto koristeći napajanje računala. Osim rezultata utvrđenih mjerenjima osciloskopom treba uvažiti i ostale moguće razloge zbog kojih dolazi do nepreciznih mjerenja. S obzirom da je senzor koji se koristi u ovom radu namijenjen plug and play svrsi, racionalno gledajući, ne mogu se u potpunost očekivati rezultati kakvi bi oni u uvjetima stvarnog ispitivanja trebali biti s obzirom na amplitudu izlaznog napona senzora na koje utječe vrijednost napona napajanja, odnosno utjecaj same kvalitete senzora. Nadalje, utvrđena je i ovisnost položaja senzora kao i tlačna sila koja djeluje na senzor pri dodiru s kožom na vrijednosti izlaznog napona.



Slika 22 Ispitivanje senzora osciloskopom koristeći bateriju od 3V

Figure 22 Testing the sensor signal using a oscilloscope powered by a 3V battery

Slika 23 Ispitivanje senzora osciloskopom koristeći napajanje računalom od 5V

Figure 23 Testing the sensor signal using a oscilloscope powered by a computer with 5V

S obzirom da se radi o optičkom senzoru, svaka svjetlosna promjena u intenzitetu svjetla se očitava, što znači da je potrebno jednakomjerno očitavanje duži period kako bi se broj otkucaja srca po minuti mogao očitati.

Kao krajnji rezultat izrađen je prototip pametne kape, odnosno jednostavnog odjevnog predmeta pomoću kojeg se nesmetano može pratiti otkucaj srčanog pulsa putem aplikacije na pametnom telefonu koristeći način ugradnje senzora na ušnoj resici prati varijacije u svjetlosnom intenzitetu zbog promjene volumena prouzrokovan prolaskom krvi kroz područje mjerenja.

7. Zaključak

7. Zaključak

Projektiranje pametne kape za praćenje srčanog pulsa ostvareno je s krajnjim ciljem razvoja pametne odjeće za bolesnike i rekonvalescente. Buduća istraživanja temeljit će se na integraciji manjih senzora i komponenata te na dizajnu koji će omogućavati manju uočljivost i fleksibilnost prilikom nošenja. Ovaj rad je nastavak dugogodišnjeg rada znanstvenika na Tekstilno-tehnološkom fakultetu na razvoju inteligentne i pametne odjeće, gdje su odnedavno uključeni i studenti, kako bi razvili svoju kreativnost i inovativnost. Projektiranje pametne kape za praćenje signala srčanog pulsa, u sklopu ovog rada je rezultiralo funkcionalnim prototipom pametnog odjevnog predmeta koji se može usavršavanjem programske podrške i daljnjom minijaturizacijom elemenata, uspješno koristiti za praćenje i motrenje zdravstvenog stanja različitih skupina ljudi: od djece do starije populacije, od bolesnika i rekreativaca do profesionalnih sportaša i vojnika.

Može se zaključiti da će pametna odjeća u bliskoj budućnosti postati naša svakodnevica kao što je to slučaj s raznim nosivim uređajima kao i pametnim telefonima koji su postali neizostavni dio našeg života. Odjevna industrija počela je razvijati pametnu odjeću za koju se bez sumnje može zaključiti da je budućnost odijevanja povezana digitalnim svijetom.

8. REFERENCE

8. REFERENCES

- [1] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G., Dragčević Z.: *Inteligentna odjeća*, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN: 978-953-7105-52-5, 2014.
- [2] <http://y2kaestheticinstitute.tumblr.com/post/160516119792/levis-icd-jacket-with-built-in-cellphone-and-mp3>
- [3] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G.: *Intelligent clothing: first and second generation clothing with adaptive thermal insulation properties*, Textile Research Journal, br. DOI: 10.1177/0040517517718190, 1-20, 2017.
- [4] Gahide S., Hodge G., Seyam A. M., Oxenham W., Franzon P.: *Micromachiens and Textiles: Matching Two Industries*, Proceedings of the TI 80th World Conference, Manchester, UK, April 2000.
- [5] Viseu A.: *Simulation and Augmentation: Issues of Wearable Computers, Ethics and Information Technology*, 5, 1, 17-26, 2003.
- [6] Aliverti A.: *Wearable technology: role in respiratory health and disease*, Breathe 3, 2, 27-36, DOI: 10.1183/20734735.008417, 2017.
- [7] Park S., Chung K., Jayaraman S.: *Wearables: Fundamentals, Advancements, and a Roadmap for the Future (Chapter 1)*, Wearable Sensors: Fundamentals, Implementation and Applications, Wearable Sensors, Sazonov E., Neuman R. M. (ed.), ISBN: 978-0-12-418662-0, 1-23, 2014.
- [8] Gopalsamy C., Park S., Jayaraman S.: *The wearable motherboard: the first generation of adaptive and responsive textile structures (ARTS) for medical applications*, Virtual Real. 4 152-168, 1999.
- [9] Halin N., Junnila M., Loula P., Aarnio P.: *The LifeShirt system for wireless patient monitoring in the operating room*, Journal of Telemedicine and Telecare; 11 Suppl 2:S41-3, 2005.
- [10] Dolan B.: *Slideshow: Images from ATA Day 2* <http://www.mobihealthnews.com/1827/slideshow-images-from-ata-day-2/page/0/4>

- [11] Paradiso J. A., Stamer T.: Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics, PervasivEcomputing, Published by the IEEE CS and IEEE ComSoc, 18-27, 2005.
- [12] Bourdon L. et al.: First Results with the Wealthy Garment ElectroCardiogram Monitoring System, Computers in Cardiology, 615-618, 2005.
- [13] www.ieeta.pt.
- [14] Lim H.: Smart Underwear for Diabetic Patients, Journal of Textile and Apparel Technology and Management, 6 1, 1-11, 2009,
- [15] Roudjane M. et al.: A Portable Wireless Communication Platform Based on a Multi-Material Fiber Sensor for Real-Time Breath Detection, Sensors, 18, 1-14, 973; doi:10.3390/s18040973, 2018
- [16] Hui X., Kan C. E.: Monitoring vital signs over multiplexed radio by near-field coherent sensing, Nature Electronics, 1, 1, 74-78, Doi :10.1038/s41928-017-0001-0, 2018.
- [17] Faletar Tanacković S.: Informacijske potrebe i ponašanje gluhoslijepih, Vjesnik bibliotekara Hrvatske, svez. 56, br. 4, 179-202, 2013.
- [18] <https://sound-shirt.jimdo.com/english-1/>
- [19] Miksca: The next wearables. Smart Clothing, <http://communicationsmart.blogspot.hr/2016/08/the-next-wearables-smart-clothing.html>
- [20] Vrsaljko K.: Lani umrla jedna zadarska beba, <https://www.zadarskilist.hr/clanci/20032017/lani-umrla-jedna-zadarska-beba>
- [21] Linti C., Horter H.; Osterreicher P.; Planck H.: Sensory baby vest for the monitoring of infants, Proceedings of the International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, Cambridge, MA, USA, 2006.
- [22] Rogale D., Firšt Rogale S.: Visokotehnološki izvori električne energije ugrađeni u obuću i odjeću, Koža i obuća, svez. 66, br. 4, 8-14, 2017.
- [23] Wang C. F. et al.: Shoe-Equipped Linear Generator for Energy Harvesting, IEEE Transactions on Industry Applications, 49, 2, 990-996, 2013.
- [24] Ando O. H. J. et al.: Proposal of a Micro Generator Piezoelectric for Portable Devices from the Energy Harvesting, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Cordoba, Spain, 2014.
- [25] <http://www.lightningpacks.com/lightningpacks.com/Electricity..> [Pokušaj pristupa 22 10 2017].
- [26] <http://tacticaldefensemedia.com/>
- [27] Cimpian A. et al.: Analysis of Pulsed vs. Continuous Power Delivery from an Electromagnetic Generator, Journal of Physics: Conference Series, 1-5, 2013.
- [28] <https://www.infineon.com/>
- [29] Veldić M.: Projektiranje elemenata pametne odjeće za praćenje signala srčanog pulsa, diplomski rad, Zagreb, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2017.
- [30] Zenzerović P.: Arduino kroz jednostavne primjere, Zagreb, Hrvatska zajednica tehničke kulture, ISBN: 9789536091416, 2014.
- [31] Siblee User Guide V02.05, 2016.
- [32] Pulse Sensor,« [Mrežno]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/11574>. [Pokušaj pristupa 02 02 2017].
- [33] Ahmed M. U. e. al.: Heart Rate and Inter-beat Interval Computation to Diagnose Stress, School of Innovation, Design and Engineering Mälardalen University
- [34] <https://github.com>.
- [35] <https://github.com/sparkfun/Siblee-LilyPad-Fitness-Bracer>.
- [36] Farrington J. et al.: Wearable sensor badge and sensor jacket for context awareness, Proceeding ISWC '99 Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Wearable Computers, 1999.
- [37] Patel S.: review od wearable sensors and systems with application in rehabilitation, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, DOI: 10.1186/1743-0003-9-21, 2012.
- [38] Majumder S., Mondal T., Deen J. M.: Wearable Sensors for Remote Health Monitoring, DOI:10.3390/s17010130, 2017.

- [39] Suh M. J., Carroll K. E., Cassill N.L.: Critical Review on Smart Clothing Product Development, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 6, 4,1-18, 2010.
- [40] <http://download.sony-europe.com/pub/manuals/html/Z003907111/HR/contents/TP0001034966.html>
- [41] <https://www.sparkfun.com/products/13633>. [Pokušaj pristupa 2 9 2017].
- [42] <http://www.gtwm.gatech.edu/>

AUTORI · AUTHORS



Dubravko Rogale

Redoviti je profesor Tekstilno-tehnološkog fakulteta u Zagrebu. Potpredsjednik je Hrvatske akademije tehničkih znanosti, član Znanstvenog vijeća za tehnološki razvoj Hrvatske

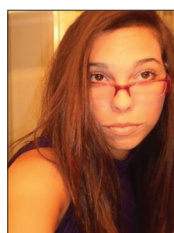
akademije znanosti i umjetnosti, predsjednik Komisije za znanost i obrazovanje pri Hrvatskom inženjerskom savezu tekstilaca. Područje interesa mu je tehnologija proizvodnje odjeće, razvoj konvencionalne i inteligentne odjeće, primjene suvremenih visokotehnoloških tehnika spajanja, toplinska svojstva odjeće. Bavi se realizacijom mjerne opreme na području odjevnog inženjerstva te ima 24 patenta.



Snježana Firšt Rogale

Zaposlena je kao izvanredna profesorica na Tekstilno-tehnološkog fakulteta u Zagrebu, gdje je diplomirala, magistrirala i doktorirala. Bila je zaposlena u tvornici odjeće Heruc Zagreb

kao pripravnik, a potom u tvornici odjeće NIK u Zagrebu kao tehnolog, gdje je stekla iskustvo i temeljita praktična znanja iz tehnoloških procesa industrijske proizvodnje odjeće. Obnašala je dužnost predstojnice Zavoda za odjevnu tehnologiju u dva mandata. Trenutno je ECTS koordinatorica na matičnoj ustanovi. Područje interesa joj nije odjevno inženjerstvo, sadržajno vezano tehnike realizacije odjeće, razvoj inteligentne odjeće te istraživanja toplinskih svojstava odjeće.



Marija Veldić

Završila je diplomski studij Tekstilna tehnologija i inženjerstvo smjer Industrijski dizajn odjeće na Tekstilno-tehnološkog fakultetu te stekla zvanje mag. ing. techn. tex. Svira violinu i klavir te se bavi fotografijom.

Korespodencija

sfrogale@ttf.hr