SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

POSLIJEDIPLOMSKI DOKTORSKI STUDIJ ELEKTROTEHNIKE I INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

KVALIFIKACIJSKI ISPIT

NOSIVA SUČELJA I BIO SIGNALI – DETEKCIJA EMOCIONALNOG STANJA KORISNIKA

Goran Udovičić

Split, lipanj 2017.

SADRŽAJ

[1. UVOD 1](#_Toc485127205)

[2. PREGLED NOSIVIH SUČELJA (WEARABLES) 3](#_Toc485127206)

[2.1 Body Area Networks (BAN) 3](#_Toc485127207)

[2.2 Nosiva sučelja – odjevni predmeti 5](#_Toc485127208)

[2.3 Nosiva sučelja – ukrasni predmeti 6](#_Toc485127209)

[2.4 Napajanje i prikupljanje energije iz okoline 7](#_Toc485127210)

[2.5 Popularna nosiva sučelja na tržištu 8](#_Toc485127211)

[3. SENZORSKI SUSTAVI I BIO SIGNALI 10](#_Toc485127212)

[3.1 Shimmer3 senzorski sustavi 10](#_Toc485127213)

[3.2 GSR signal 11](#_Toc485127214)

[3.3 PPG signal 12](#_Toc485127215)

[3.4 EEG signal 13](#_Toc485127216)

[3.5 Ostali bio signali 14](#_Toc485127217)

[4. DETEKCIJA EMOCIONALNIH STANJA 16](#_Toc485127218)

[4.1 Emocije 16](#_Toc485127219)

[4.2 Metodologija detekcije emocionalnih stanja 19](#_Toc485127220)

[4.2.1 Elicitacija i prikupljnje signala 20](#_Toc485127221)

[4.2.2 Obrada sirovog signala 24](#_Toc485127222)

[4.2.3 Izvlačenje značajki signala 24](#_Toc485127223)

[4.2.4 Klasifikacija – metode u detekciji emocionalnih stanja 25](#_Toc485127224)

[4.3 Dosadašnji rezultati i budući rad 28](#_Toc485127225)

[5. ZAKLJUČAK 30](#_Toc485127226)

[LITERATURA 31](#_Toc485127227)

# 1. UVOD

Početkom 90-tih godina 20 stoljeća, započinje istraživački i komercijalni interes za razvojem nosivih uređaja. U početku su to bili nezgrapni, skupi i veliki uređaji s obziroma na dostupnu tehnologiju i elektroničke komponente tog doba. U posljednjem desetljeću, s razvojem minijaturnih uređaja, strahovito je poraslo zanimanje za tehnologijom nosivih uređaja. Zbog povećanog interesa za istraživanjem u tom novom području, nosivi uređaju su se razvili u pouzdane i precizne uređaje te postali dio našeg svakodnevnog života. Sada već možemo govoriti i o pametnim okolinama koje predstavljaju svijet pun različitih senzora i pametnih uređaja koji neprimjetno rade skupa, čineći svakodnevni život lakšim i udobnijim. S obzirom na sve većoj dostupnosti senzora koji su sposobni prikupljati biološke signale, njihovo snimanje, obrada i analiza postali su važan alat kako za znanstvena istraživanja, tako i u svakodnevnoj medicinskoj praksi. Na taj način se olakšava napredak u istraživanju načina funkcioniranja ljudskog tijela i raznih procesa koji se u njemu odvijaju, dijagnosticiranje raznih bolesti i poremećaja, nadgledanja stanja pacijenata, detekciji emocionalnog stanja korisnika i sl. Upravo se u posljednje vrijeme pojavljuje sve veći broj istraživanja s temom detekcije emocionalnog stanja korisnika budući da postoje modeli takve primjene u sustavima sigurne vožnje, raznim sustavima za učenje, sustavima udaljene kućne njege u telemedicini, razvoju robotike itd.

Budući da emocionalno stanje kod ljudi ima značajnu ulogu u odlučivanju, rješavanju problema, razgovoru, dogovaranju te pregovaranju, ispravna detekcija emocija je neophodna za razvoj napredne interakcije između čovjeka i računala. Prema Darwinu, ljudi mogu imati poteškoća u nastojanju da izraze svoje vlastite emocije tj. stupanj njihovog emocionalnog stanja ne može se točno izmjeriti. Stoga se postavlja opravdano pitanje može li se emocija uopće objektivno izmjeriti budući da različiti ljudi na različiti način izražavaju svoje emocije. Pored toga, potrebno je uzeti u obzir da elicitacija emocija kod nekih ljudi može biti više ili manje uspješna bez obzira na medij s kojom se pobuđuju korisnici što uključuje slike, zvukove ili video isječke. Istraživanje objektivne detekcije ljudskih emocija će u budućnosti zasigurno imati veliku primjenu.

U ovom radu dan je pregled najnovijih istraživanja povezanih s detekcijom emocionalnih stanja na temelju bio signala korištenjem nosivih sučelja. U 2. poglavlju je prikazan pregled nosivih sučelja, opisane su dvije glavne skupine nosivih sučelja te karakteristike njihovog napajanju i mogućnost prikupljanja energije iz okoline. Osim toga predstavljeni su i neki od najpopularnijih uređaja dostupnih na tržištu. 3. poglavlje opisuje senzorski sustav Shimmer3 koji je sposoban snimati veliki broj bio signala te opise bio signala najčešće korištenih kao sredstvo za detekciju emocionalnog stanja korisnika. Poseban naglasak je stavljen na 2 signala: GSR i PPG zbog lakog i praktičnog snimanja spomenutih signala. U 4. poglavlju je opisano što su to emocije te je definirano 6 osnovnih emocija sa psihološkog stajališta te su navedeni najčešći oblici prikazivanja emocija. Zatim je prikazana metodologija prepoznavanja emocija te su opisani postupci elicitacije i prikupljnja signala, obrade signala, metode izvlačenja fizioloških značajki, metode klasifikacije emocija i njihove usporedbe. Isto tako je opisan i dosadašnji rad te rezultati. Na kraju slijede zaključak te budući rad.

# 2. PREGLED NOSIVIH SUČELJA (WEARABLES)

Postoji mnogo definicija nosivih sučelja, a jedna od najjednostavnijih definicija glasi da je nosivo sučelje bilo koji elektronički uređaj priključen na tijelo koji je dizajniran za pružanje korisnih usluga krajnjem korisniku bez obzira na njegovu aktivnost [1]. Prema [2], nosivo računalo predstavlja računalo koje je uključeno u osobni prostor korisnika, kontrolira ga sam korisnik, posjeduje operativnu i interaktivnu stabilnost, tj. uvijek je uključen i uvijek je dostupan. Također, nosiva sučelja se mogu zamisliti kao sustav različitih senzora spojeni na ljudsko tijelo koje prate određene ljudske aktivnosti ili fiziološke funkcije čovjeka. Prikupljeni podaci mogu se pohraniti lokalno ili prenijeti na udaljeni uređaj kao što je pametni telefon ili prijenosno računalo putem Bluetooth ili Wi-Fi tehnologije. Podaci se mogu obrađivati u stvarnom vremenu ili u izvanmrežnom modu koristeći razne metode za procesiranje i odlučivanje. Sustavima nosivih sučelja se dodaju razni elektronički uređaji, uključujući mikroprocesore, senzore itd. te se nenametljivo ugrađuju u odjeću korisnika ili nakit. Slijedom toga, nosiva sučelja postaju dio normalne odjeće i nakita koji se koristi u svakodnevnom životu. Svi ovi uređaji moraju zadovoljiti zahtjeve, a to su: povezivost, sigurnost, dizajn, robusnost, niska potrošnja energije i skupljanje energije iz okoline. Najčešće, nosiva sučelja koriste se kod/u:

• Analiza hoda i/ili rizik od padanja kod starijih osoba

• Sport

• Aktivnosti vezane za svakodnevni život

• Inercijska obrada signala

• Ostale biološke i ljudske metrike

• Mreže senzora

• Nadgledanje vozila i okoliša

## 2.1 Body Area Networks (BAN)

U počecima pojave nosivih sučelja, zbog nedovoljnog tehnološkog razvoja i napajanja samih uređaja, nosivi uređaji su mogli obavljati istovremenu samo jednu aktivnost. Danas se koriste za više istovremenih aktivnosti ili kao sustav senzora. Ako su ti senzori priključeni na ljudsko tijelo, onda možemo govoriti o području mreže tijela (Body Area Network) ili BAN sustavu. To je sustav koji omogućava komunikaciju između senzora priključenih na tijelo te praćenje i bilježenje vitalnih funkcija ljudskog organizma kao i kretanja čovjeka u realnom vremenu. Iako su senzori obično priključeni na ljudsko tijelo, s unapređenjem nanotehnologije, nosiva sučelja se mogu implantirati i unutar ljudskog tijela. Korištenje takvih implantiranih uređaja još uvije otvara brojne rasprave vezane uz privatnost, etiku te sigurnosna pitanja. Jedan od prvih članaka u internetskom dobu objavili su istraživači s MIT-a R. W. Pickard i J. Healey 1997. [3]. Definirali su izraz "Affective wearable" kao sustav nosivih sučelja opremljen senzorima i alatima koji omogućuju prepoznavanje afektivnih stanja nositelja tog sustava. Emocionalni uzorci uključuju izraze emocija kao što su radosni osmijeh, mrštenje lica, napetost glasa ili promjene u aktivnostima autonomnog živčanog sustava (ANS) kao što su otkucaji srca ili povećana vodljivost kože. Ovi podaci mogu biti vrlo korisni u interakciji s ljudskim računalima jer je ideja da stroj može interpretirati osobu prema izgledu, ponašanju ili fiziološkim signalima.

Zanimljivo istraživanje objavili su K. Wac i C. Tsiourti u [4]. Njihov članak predstavlja sažetak nosivih sučelja do 2013, a istraživanje se temelji na nosivim BAN sustavima za mjerenje bio signala. Postoje razne psihofiziološke mjere/signali koji se mogu snimiti suvremenim elektroničkim uređajima tj. senzorima. Aktigrafija je metoda praćenja ciklusa ljudskog odmora i aktivnosti. Podaci o akcelerometru mogu se koristiti za otkrivanje pokretljivosti i položaja trupa korisnika koji su dobiveni pomoću 3D akceleracijskog senzora. Senzori se obično postavljaju na bedra (iznad koljena) ili prsa [5]. Arterijski krvni tlak BP (eng *Blood pressure*) jedan je od najvažnijih kliničkih parametara i široko je rasprostranjen u medicinskim i nemedicinskim okruženjima. Relativno ga je lako mjeriti tj. korisnik normalno obavlja svoje dnevne aktivnosti. Zbog velikog broja mjerenja ambulantno mjerenje pruža pouzdanu procjenu krvnog tlaka korisnika [6]. Autori u [7] mjere elektrodermalnu aktivnost pomoću elektroda na dlanu u laboratorijskim uvjetima. Promjene u vodljivosti kože na površini mogu utjecati na kognitivna stanja, uzbuđenje, emocije. Kardiografska impendencija ICG (eng . *Impedance cardiography*) je izvediva i precizna metoda za neinvazivna mjerenja volumena moždanog udara SV (eng. *Stroke volume*) i srčanog izlaza CO (eng. *Cardiac output*). ICG može identificirati pacijente s povećanim rizikom od moždanog udara [8]. Pulsoksimetrija je neinvazivna metoda za praćenje zasićenja kisikom pacijenta. U [9] autori su razvili algoritme za automatsku procjenu kvalitete pulsnih oksimetrija i krvnog tlaka u kućnom okruženju.

## 2.2 Nosiva sučelja – odjevni predmeti

Postoje razni odjevni predmeti koji se mogu staviti/obući na različite položaje ljudskog tijela, uključujući glavu, vrat, torzo, ruke, ruke, noge i noge. Prilikom dodavanja računalnih sklopova ili senzora u odjevne predmete oni trebaju biti pokriveni i zaštitićeni od raznih vanjskih utjecaja kao što su voda, toplina i vatra. Nosiva sučelja izvedena u obliku odjevnih predmeta mogu biti košulje, rukavice, hlače i cipele i sl.

Takva nosiva sučelja su dizajnirana i napravljena za različite primjene, kao što su daljinsko nadziranje zdravstvenog stanja korisnika, praćenje fizičke aktivnosti i opću interakciju korisnika. Ipak, većina sučelja izvedena u obliku odjevnih predmeta sadrži ključne komponente: senzore, procesor, korisničko sučelje, prijenos podataka i napajanje.

Nosivi sustav zdravstvene zaštite osim što bi trebao biti malen, praktičan i jednostavan za uporabu od strane korisnika, treba biti i precizan u mjerenju fizioloških signala u svakodnevnom životu korisnika. U-healthcare sustav [10] sastoji se od pojasa za mjerenje HR i akcelerometara za otkrivanje položaja trupa te detekcije pada korisnik. Osim toga sadrži i impulsni oksimetar smješten na čelu korisnika te mikrokontroler za pretprocesiranje signala, ZigBee modul za bežični prijenos podataka i bateriju za napajanje.

Europski integrirani projekt nazvan ProeTEX (eng. Protection eTextiles: Micro-Nano-Structured fiber systems for Emergency-DisasterWear) [11] predstavlja novu generaciju "pametnih" odjevnih predmeta za vatrogasce. Cijeli sustav se obuhvaća tri odijevna predmeta: majicu, jaknu i par čizama. Sustav omogućuje otkrivanje parametara zdravstvenog stanja korisnika (HR, brzina disanja, tjelesne temperature, zasićenosti kisika u krvi, lokacijskoj poziciji korisnika, aktivnosti i položaju trupa korisnika) te parametara iz okoline (vanjska temperatura, prisutnost toksičnih plinova i toplinski tok koji prolazi kroz odjeću). Čizme su sadržavale CO2 senzore i ZigBee modul. Komunikacijski i alarmni moduli priključeni na odjeću korisnika služe za prijenos korisnih informacija upravitelju operacije i pružanje vizualnih i akustičkih upozorenja kada su otkrivene opasne situacije. Drugi članak [12] predstavlja dizajn i razvoj STant sustava, jeftinog, nosivog sustava za praćenje pokreta tijela (od struka na dolje) prilikom dugotrajnih treninga. Susatav se sastoji od više minijaturnih inercijskih senzora koji su integriranim u nogavicama hlača i čarapa te su međusobno spojeni preko tekstilnih kabela. Inercijski senzori se nalaze na zdjelicama, iznad koljena i ispod koljena. Rezultat je lagana, podesiva platforma s visokom udobnošću nošenja za svakodnevnu uporabu. Mnogo se članaka bavi prevencijom pada kod starijih osoba. Europski projekt "Self Mobility Improvement in the eLderly by counteractING falls " (projekt SMILING) [13] imao je za cilj poboljšanje hoda i ravnoteže tijekom šetnje motoriziranim cipelama.

## 2.3 Nosiva sučelja – ukrasni predmeti

Područja primjene nosivih sučelja izvedenih u obliku ukrasnih predmeta uglavnom se preklapaju s onima izvedenima u obliku odjevnih predmeta. Neki od primjera ukrasnih oredmeta su pametne naočale, prstenje i pojasevi.

Brz razvoj tehnologije nosivih sučelja doveo je do nekoliko istraživanja povezanih s primjenom pametnih naočala u zdravstvu. U [14] autori predlažu opću arhitekturu sustava za prepoznavanje osobe koristeći integrirane podatke od različitih izvora. Pametne naočale integriraju podatke dobivene iz središnjeg zdravstvenog informacijskog sustava, s uređaja povezanih na pacijentu te od samog pacijenta. Razvili su tri metode identifikacije na temelju raspoznaje lica i korištenjem raspoznavanja grafičkih markera (QR kodovi i ponuđene kodove utemljene na bojama). Uzimajući u obzir rezultate razvijenih metoda sistem pruža pouzdane i brze rezultate prepoznavanja.

Nedavno, Google Glass je korišten u teletoksilogiji tijekom toksikoloških savjetovanja [15]. Toksikolog – konzultant, gledajući video prijenos, otkrio je da je kvaliteta zvučnog i vidnog prijenosa iskoristiva u 89% slučajeva, i da je šest pacijenata primilo protuotrove koje inače ne bi primili.

Korisnikov ručni zglob postao je savršeno mjesto za nosiva sučelja jer je vrlo pristupačan i vizualno efektan. Mnogi istraživači usmjerili su svoj dizajn i razvoj prema sustavima na bazi narukvica. Jedan od njih [16] predstavlja uređaj koji se nosi na zglobu i prstu, koji ima integrirane senzore za praćenje fizioloških parametara poput temperature kože, HR, i utjecaja tijela. Podaci sa senzora se integriraju i procesuiraju. Kako su autori izložili u članku, prototip uređaja je proizveden i opsežno testiran s vrlo dobrim rezultatima.

Uz ručni zglob, zanimljiva lokacija za nosiva sučelja je struk. U [17] autori predstavljaju nosivi pojas za mjerenje otkucaja srca za ambulantno ECG nadgledanje koji se udobno može nositi na prsima ili na struku. Sistem pruža prijenos HR podataka na sportski sat za njihovo prikazivanje. Prema rezultatima, EKG signali s relativno dobrom kvalitetom su snimljeni u situacijama odmora i hoda kad je pojas nošen na struku.

## 2.4 Napajanje i prikupljanje energije iz okoline

S obzirom na činjenicu da nosiva sučelja trebaju omogućiti dovoljno energije za neprestalni rad svih svojih komponenti, potrošnja električne energije je postala jedna od glavnih problema tj. izazova koja bi u budućnosti trebala odrediti daljni smjer razvoja nosivih sučelja. Unatoč činjenici da takvi uređaji koriste nisku količinu energiju BLE (Bluetooth Low Energy), i dalje postoji potreba za čestim punjenjem usljed brze potrošnje. Nažalost, rješavanje pitanja napajanja i energetske potrošnje nosivih uređaja ne prati ubrzani i stalni napredak nosivih tehnologija. Stoga, učinkovite baterije za nosiva sučelja proizvođačima, danas, predstavljaju najveći izazov. Baterije su, ujedno, i najčešći tip napajanja nosivih sučelja, a koriste se različiti tipovi baterija kao što su litij-ionske, tankoslojne i grafitne baterije zbog njihove veličine, težine i održavanja.

Budući da nosiva sučelja trebaju česta punjenja tj. koriste baterije kao stalni izvor energije, otvara se veliki potencijal za tehnologiju prikupljanja energije iz okoline uređaja (eng. *energy harvesting*). Pritom se javljaju mnoge prednosti za krajnjeg korisnika, uključujući smanjenu ovisnost o baterijama, smanjeni trošak instalacije i održavanje te zaštita okoliša. Umjesto da se nosiva sučelja napajaju bilo žično ili bežično, nova nosiva sučelja mogla bi sama proizvoditi energiju koja im je potrebna za ispravan rad koristeći izvore svjetla, topline, ljudskih pokreta ili vibracija u njihovom okruženju. Naravno, na tržištu već postoje uređaji koji prikupljaju energiju iz okoline i koriste je za vlastite potrebe, a jedan od najprisutnijih su automatski satovi koji mehaničku energiju pokreta ruke koriste za svoje napajanje. Vrste ambijentalnih izvora koja se koriste za prikupljanje energije su: vjetar, sunce, vibracije, elektromagnetsko polje, temperaturni gradijent, radio valovi, itd.

Prikupljanje solarne energije vjerojatno je najstariji i najrašireniji način prikupljanja energije. Niskopotrošni uređaji koji se nalaze u unutrašnjosti zgrada i/ili poslovnih prostora kao što su daljinski senzori, sustavi za nadzor i alarmiranje, distribuirani sustavi kontrole i prijenosa podataka prikladni su za napajanje putem fotonaponskog sustava. Posebno se to odnosi zbog njihovog održavanja i pristupačnosti [18].

Termoelektrična žetva energije pretvara toplinu u električnu energiju upotrebom fizičkog principa poznatog kao Seebeckov efekt. Budući da je ljudsko tijelo trajni izvor topline, može se koristiti kao jedna strana sustava (vruća strana) dok okolina može predstavljati drugu stranu (hladnija strana). Količina energije koja se može proizvesti ovisi o delti tj. razlici između visoke i niske temperature. Jedna od glavnih prednosti termoelektrične žetve je da je energija uvijek dostupna, kako u zatvorenom tako i na otvorenom prostoru. Proučavanje prikupljanja termoelektrične energije na ljudima pokazuje da iako na proizvodnju električne energije utječu mnogi čimbenici kao što su temperatura okoline, brzina vjetra, toplinska izolacija odjeće i aktivnost osobe, ona ne ovisi izravno o brzini metabolizma pojedine osobe [19].

RFID (engl. *Radio Frequency IDentification*) je tehnologija koja koristi radio frekvencije za razmjenu informacija između prijenosnih uređaja/memorija (npr. proizvodi u skladištima, poštanske pošiljke) i stacionarnih računala. Autori u [20] predstavljaju mogućnost žetve GSM energije u svrhu povećanju komunikacijskog domet između RFID čitača i pasivnih RFID oznaka tj. naljepnica.

## 2.5 Popularna nosiva sučelja na tržištu

Mnoga nosiva sučelja našli su svoju komercijalnu primjenu te se kao takva već dobrano koriste u svakodnevnom životu. U tablici 1. prikazani su neka od popularnijih nosivih sučelja te je napravljena analiza tehničkih dijelova takvih uređaja. Analizirana su kućišta kao vizualni indikator uređaja, autonomija kao stupanj integracije hardvera i operacijskog sustava te komunikacijski kanali kako bi se utvrdio stupanj slobode kretanja korisnika, senzori te namjena samih uređaja. Podaci su preuzeti s mrežnih stranica proizvođača.

Tablica 1. Pregled popularnih komercionalnih nosivih sučelja

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Naziv | Kučište | Autonomija | Komunikacija | Senzor | Namjena |
| Fitbit Surge | Sat-narukvica | Da | Bluetooth,  USB | GPS, akcelerometar, žiroskop, altimetar, magnetometar, senzor svjetla, | Nadgledanje tjelesnih aktivnosti i spavanja |
| Google Glass | Naočale | Da | Bluetooth,  Wifi | Akcelerometar, žiroskop, magnetometar, blizinski senzor | Proširena stvarnost |
| Jawbone Up4 | Narukvica | Da | Bluetooth | Akcelerometar,  senzor pokreta, senzor otpora kože | Nadgledanje tjelesnih aktivnosti |
| Nymi | Narukvica | Ne | Bluetooth | Akcelerometar, žiroskop | Autentikator |
| Oculus Rift | Naglavni uređaj | Ne | USB | Akcelerometar, žiroskop, magnetometar | Virtualna stvarnost |
| Nike Lunar Hyperdunk | Obuća | Ne | Bluetooth | Hyperdunk+ Bluetooth senzori | Nadgledanje sportskih aktivnosti |
| Owlet Baby Care | Čarapa | Ne | Bluetooth,  Wifi | akcelerometar, žiroskop, oksimetar, optički senzor | Praćenje zdravlja djeteta |

Tehnološki napredak ulaznih i izlaznih jedinice nosivih sučelja ponajprije ovisi o tehničkim izazovima minijaturizacije dijelova uređaja i pohrane energije. Razvoj nosivih sučelja ima tendenciju smanjivanja dimenzija uređaja, povezivost i obradu podataka na mobilnim uređajima, a sve u svrhu povećane uštede energije jer veličina baterije koja služi kao izvor energije za uređaj ovisi o veličini tog uređaja.

Na temelju provedene analize moguće je zaključiti da se oblik i osnova funkcionalnost odjevnih i ukrasnih predmeta uglavnom zadržavaju tj. ostaju nepromijenjana. Dodavanjem računalnih sklopova funkcionalnost nosivih uređaja se proširuje. Autonomne uređaje obično razvijaju velike tvrtke (Google, Samsung, Apple, Microsoft) zbog velikih resursa potrebnih za razvoj softvera i hardvera. Ugrađeni računalni sklopovi omogućuju obradu podataka u neposrednoj okolini korisnika te su na neki način nadogradnja tehnologiji pametnih telefona s kojima bežično komuniciraju uglavnom putem bluetooth tehnologije.

# 3. SENZORSKI SUSTAVI I BIO SIGNALI

Svi potencijali koji nastaju u živom organizmu nazivaju se biopotencijali, a struje koje oni izazivaju biostruje. Električno mjerenje biostruja i biopotencijala u ljudskom organizmu naziva se elektrografija. Mjerenje biopotencijala i biostruja vrši se pomoću instrumenata tj. senzora koji su elektrodama povezani sa biološkim sustavom. Elektrode mogu biti različitog oblika i izrađene od različitih materijala, a mogu se podijeliti u tri tipa: površinsko-kožne, iglene i mikroelektrode.

## 3.1 Shimmer3 senzorski sustavi

Shimmer (Sensing Health with Intelligence, Modularity, Mobility and Experimental Reusability) Sensing je tvrtka sa sjedištem u Dublinu, Irska koja se bavi proizvodnjom kompaktnih senzora koji se mogu jednostavno nositi. Shimmerova senzorska tehnologija omogućuje prikaz i prijenos biofizičkih i kinetičkih podataka u stvarnom vremenu koji mogu biti spremljeni ili prenošeni preko Bluetootha na drugi uređa, npr. računalo ili pametni telefon. Shimmerov senzorski sustav snima i prenosi širok raspon podataka, sve ovisno o tome što je potrebno vezano za samo mjerenje i okoliš u kojem se mjeri. To otvara vrata za brojne eksperimente u kojima se mogu napraviti analize utjecaja i međuutjecaja snimljenih podataka. Na slici 1 je prikazana bazna stanica za priključenje 12 Shimmer3 senzora.



*Slika 1. Shimmer Consensys bazna stanica*

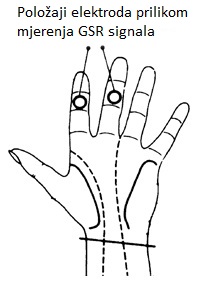
Shimmer3 modul je mali, lagani (oko 20 g) i kompaktni uređaj. Radi s 24 MHz MSP430 mikrokontrolerom. Također sadrži inercijski senzorski sustav uključujući integrirani akcelerometar, žiroskop, magnetometar i visinometar.

Shimmer3 modul obavlja analogno-digitalnu pretvorbu i obavlja spremanje podataka u stvarnom vremenu. Podaci se mogu strujati (engl. *stream*) preko Bluetootha na računalo ili spremati lokalno na ugrađenu MicroSD memorijsku karticu. Također, dug vijek baterije omogućava obavljanje velikog broja mjerenja izvan laboratorijskih uvjeta, daleko od izvora napajanja. [21]

## 3.2 GSR signal

GSR (eng. *Galvanic Skin Response*) se definira kao mjera promjene električnih svojstava kože. U literaturi se može još pronaći i pod nazivom SC (eng. *Skin Conductivity*), EDA (eng. *Electrodermal activity*), EDR (eng. *Electrodermal response*) i PGR (eng. *Psychogalvanic reflex*). Otpornost kože se smanjuje ukoliko je koža znojna, a ovaj signal se pokazao kao dobar i osjetljiv pokazatelj stresa te također pomaže u razlikovanju između konfliktnih i nekonfliktnih situacija ili između bijesa i straha. Mjerenje je relativno jednostavno i može se koristiti kao koristan i jednostavan alat za ispitivanje funkcija autonomnog živčanog sustava, posebno funkcija perifernog simpatetičkog sustava.

Najčešće se GSR signal mjeri na dijelovima kože koji obiluju znojnim žlijezdama, a to su područja ruku pogotovo dlanovi i prsti, a može se mjeriti i na nogama Na Slici 2. je prikazan jedan od najčešćih načina mjerenja GSR signala, elektrode su povezane na srednji prst i kažiprst [22].



*Slika 2. Jedan od uobičajenih načina mjerenja GSR signala*

GSR signal se može opisivati sa stajališta provodljivosti, otpornosti i elektro-fiziološkog potencijala. Elektro-fiziološki potencijal proizvode znojne žlijezde, a znoj na koži je kombinacija promjene u provodljivosti i otpornosti kože. Također, vazodilatacija (širenje krvnih žila) i vazokonstrikcija (sužavanje krnih žila) također mogu imati važne uloge u generiranju GSR signala.

GSR signal se može mjeriti koristeći nekoliko metoda mjerenja:

* koristeći elektro-fiziološka mjerenja kao ECG ili EMG
* mjereći promjene u provodljivosti i otporu kože
* kombinacija prethodnih dvaju načina

## 3.3 PPG signal

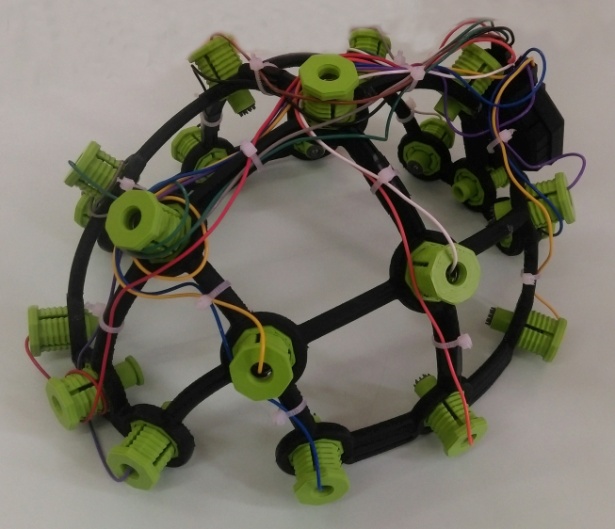
PPG je signal koji optički mjeri promjenu u volumenu organa ili dijela tijela. Za mjerenje PPG signala koristi se jednostavna i jeftina optička tehnika, a najčešće se koristi pulsni oksimetar koji osvjetljava kožu i mjeri promjene u apsorpciji svjetla. Sa svakim srčanim ciklusom srce pumpa krv u periferiju tijela. Iako pulsni pritisak na kožu zna kasniti dok dođe do kože, dovoljan je da rastegne arterije i arteriole u hipodermi. Hipoderma je najniži sloj kože u ljudskom tijelu. Zahvaljujući promjenama u volumenu kojeg je uzrokovao pulsni pritisak, doći će do promjene u količini reflektiranog svjetla kojeg emitira LED dioda. Usred sistole, odnosno, kad srce pumpa krv u žile, u krvnim žilama će se nalaziti veće količine krvi, zbg čega će količina reflektiranog svjetla biti veća, a količina transmitiranog svjetla manja. Analogno tome, kad dođe do dijastole (otpuštanja pulsnog pritiska), količina krvi u žilama će biti manja i količina reflektiranog svjetla će biti manja, a količina transmitiranog svjetla veća.

PPG uređaji se najčešće koriste za određivanje volumena srčanog pulsa BVP (eng. *Blood volume pulse*) ) iz čijih se očitavanja izračunava broj otkucaja srca, varijabilnost otkucaja srca u jedinici vremena i drugi kardiovaskularni podaci. PPG može biti dobiven koristeći trasmisijsku apsorpciju (mjerenje na vrhu prsta ili resici uha) ili refleksiju (mjerenje na čelu) [23].

## 3.4 EEG signal

Elektroencefalografija (EEG) je proces snimanja električne aktivnosti duž skalpa. EEG mjeri električni biopotencijal koje stvaraju neuroni i neuronske veze u mozgu. Prilikom snimanja EEG signala broj snimljenih signala ovisi o broju kanala koji se snima (može biti i do 128 kanala), a obično se snima 8 ili 16 kanala. Na slici 3. je prikazan openBCI Utracortext-16 kanalni uređaj za snimanje EEG signala. EEG signal možemo promatrati kao skup valnih oblika koje karakterizira određena amplituda, frekvencija i mjesto nastanka. S obzirom na te parametre valne oblike dijelimo na:

* delta δ-valovi (0,5 – 4 Hz)
* theta θ-valovi (4 – 8 Hz)
* alfa α-valove (8 – 13 Hz)
* beta β-valove (13 – 30 Hz)
* gama γ-valovi (30 – 100 Hz)



*Slika 3. OpenBCI Ultracortex kit – 16 kanalni*

Danas je u porastu istraživanje u području BCI tehnologije (eng. *Brain computer interface*). Sučelje mozak - računalo je komunikacijski sustav između signala iz mozga i vanjskog uređaja. Signali iz mozga mogu biti prikupljani putem neinvazivnih i invanzivnih metoda Najčešći oblici uporebe neinvanzivnih metoda prikupljanja signala uključuju postavljanje elektroda na tjeme glave u obliku kape ili kacige dok invazivna tehnika zahtjeva operaciju u području mozga.

BCI tehnologija najčešću primjenu ima kod ljudi sa invaliditetom, a ponajprije paraliziranih osoba ili osoba bez ekstremiteta jer ova tehnologija omogućava pomicanje ekstremiteta (nogu ili ruku) pomoću misli. Tako postoje napredni projekti TOBI [24] i MoreGrasp[25] koji olakšavaju život takvim ljudima.

EEG signali i njihove karakteristike također se u istraživanjima koriste i kod detekcije emocionalnih stanja. Tako su istraživači u [26] koristili slike, glazbu i video za elicitacija emocija snimivši 14-kanalne EEG signale. S obzirom na nezgrapne i neprikladne EEG sustave koji se danas uglavnom koriste u kliničkoj praksi, budući razvoj ide prema inteligentom nosivom, bežičnom, i za svakodnevni život prikladnom i udobnom sustavu [27].

## 3.5 Ostali bio signali

U istraživanjima povezanim s detekcijom emocionalnog stanja korišteni su i drugi bio signali:

* Elektrokardiogram (EKG) je krivulja kojom se registrira tok struja srca, tj. bioelektrički potencijali srca. Može biti korišten za mjerenje srčanog pulsa HR (eng. *Heart rate*) i intervala među otkucajima da bi se odredila varijabilnost srčanog pulsa HRV (eng. *Heart rate variability*). Niski HRV može ukazati na stanje opuštenosti, dok povišeni HRV može ukazivati na potencijalno stanje mentalnog stresa ili frustracije.
* Elektromiografija (EMG) ukazuje na mišićnu aktivnost ili frekvenciju naprezanja određenog mišića tj. na promjenu biopotencijala mišića. EMG signal mjeri količinu električne struje koja nastaje u mišićima tijekom napinjanja usljed neuromuskularne aktivnosti. Budući da središnji živčani sustav uvijek kontrolira aktivnost mišića, EMG signal je komplicirani signal te ovisi o anatomskim i fiziološkim svojstvima mišića na kojem se mjeri aktivnost. Ipak ovaj signal se dosta često koristi u istraživanjima jer se snažna mišićna aktivnost često događa pod stresom. [28]
* Disanje također može biti jedan od pokazatelja emocionalnog stanja korisnika. Tako postoje respiracijski senzori koji mjere dubinu i brzinu disanja. Brzo i duboko disanje može biti znak da se korisnik uzbudio što se manifestira kao bijes ili strah, ali ponekad također i užitak. Brzo plitko disanje može biti znak napetog iščekivanja uključujući paniku, strah ili koncentraciju. Sporo i duboko disanje ukazuje na opušteno odmarajuće stanje dok sporo i plitko disanje može ukazivati na stanja isključenosti, pasivnosti, poput depresije ili smirene sreće.
* Senzori za mjerenje temperature kože također mogu utjecati na pobudu emocionalnih stanja [29]

# 4. DETEKCIJA EMOCIONALNIH STANJA

## 4.1 Emocije

Emocija je svako relativno kratko svjesno iskustvo koje karakterizira intenzivna mentalna aktivnost i stupanj užitka ili nezadovoljstva [30]. Nadalje, prema [31] emocija je reakcija subjekta na stimulans koji je ocijenio kao važan, a koja *visceralno*, motorički, motivacijski i mentalno priprema subjekt za adaptivnu aktivnost. Već odavno, psiholog Paul Ekman, pionir u proučavanju ljudskih emocija i emocionalnih stanja, definirao je 6 osnovnih emocija: sreća, tuga, strah, bijes, iznenađenje i gađenje. Također, zastupao je stajalište da su emocije diskretne, mjerljive i fiziološki različite. U međuvremenu, nekoliko ostalih istraživača definiralo je i svoje vlastite liste osnovnih emocija vrlo slične Ekman-ovoj listi. Sve ostale emocije nastaju kao kombinacija osnovnih emocija. Stručna literatura definira emocionalne reakcije na ovaj način [31]:

* Sreća - Radost

Osjećaj koje subjekt osjeća kada je ostvarena neka od njegovih najvećih želja, odnosno afirmirana neka od najviših vrijednosti. Apsolutna ili potpuna sreća bi se odnosila na ispunjenje svih subjektovih potreba i želja. Sreća je intenzivnija od zadovoljstva jer je ispunjena želja koja je suštinska i najznačajnija.

* Tuga

Subjekt osjeća tugu ili žalost u situacijama u kojima procijenjuje da nepovratno gubi nešto što mu je vrijedno. Infantilna tuga se bitno razlikuje od tuge odraslih, jer dijete doživljava gubitak roditelja kao prijetnju svojoj egzistenciji.

* Strah

Strah je osjećaj koje subjekt osjeća u situacijama u kojima procijenjuje da je ugrožena neka njegova vrijednost i da ne bi mogao da se adekvatno usprotivi objektima ili situacijama koje ga ugrožavaju. Pojam strah je dosta neodređen jer se odnosi na specifičnu emociju straha, ali i na cjelokupnu grupu emocija koje se kvalitativno razlikuju od emocije straha: oprez, panika, užas, strepnja, trema, anksioznost, zabrinutost, itd. Razlikujemo strah za sebe, strah za druge, strah od drugih i strah od sebe. Izvor straha može biti lociran u vanjštini, u unutrašnjosti ili na tjelesnoj granici.

* Bijes

Afekt ljutnje. Iako bijesni subjekt prijeti gubitkom kontrole i neobuzdanom destruktivnošću, radi se o „kontroliranoj nekontroli”. Važno je razlikovati bijes koji je afekt ljutnje, od afekta mržnje (gnjev) ili od afekta prezira koji se često pogrešno nazivaju bijesom.

* Iznenađenje

Osjećanje koje subjekt osjeća kada se naglo ispostavi da određeni objekt ili situacija ima neki drugi kvalitet od onoga koji je očekivao. Iznenađenje može biti ugodno i neugodno.

* Gađenje

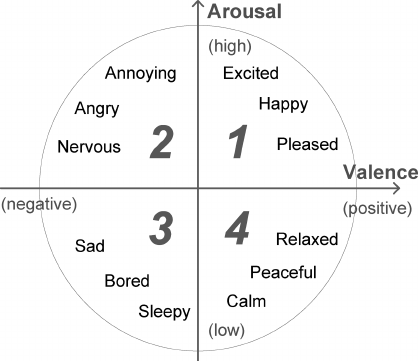
Gađenje se osjeća kada subjekt procijenjuje da bi nekakva štetna supstanca mogla biti unesena u njegov organizam. Kod gađenja sudjeluju mučnina i povraćanje kao refleks koristan za preživljavanje, koji se aktivira unošenjem pokvarene ili otrovne hrane. Gađenje je potrebno razlikovati od straha (kod fobija) i od prezira (koji može biti somatiziran u obliku gađenja).

Psiholozi su razvili teorije usmjerene na načine kategorizacije zapaženih emocija te su definirali dva glavna pristupa: diskretni i dimenzionalni pristup. Gore spomenute emocije pripadaju diskretnom pristupu u kojem se tvrdi da postoje primarne, univerzalne emocije svojstvene svim kulturama.Inače, jedan od najutjecajnijih Ekman-ovih radova je pokazao da određene emocije mogu biti univerzalno prepoznate, čak i u kulturama koje su se nalazile u pred-pismenoj fazi i nisu mogli naučiti vezu između emocija i izraza lica.

Prema Shererovim komponentama obrađivanja emocija [32], navodi se da postoji pet ključnih elemenata emocija. To su:

* kognitivna procjena (daje procjenu događaja i predmeta)
* tjelesni simptomi (fiziološka komponenta emocionalnog iskustva)
* tendencije djelovanja (motivacijska komponenta za pripremu i usmjeravanje motoričkih odgovora)
* izraz (glasovni izražaj i izraz lica prati emocionalno stanje)
* osjećaji (subjektivni doživljaj emocionalnog stanja)

Dimenzionalni pristup za opisivanje strukture emocija, za razliku od diskretnog pristupa, koristi dimenzije. Prema tom pristupu, sve emocije su opisane prema pobuđenosti (eng. arousal) i ugodi (eng. valence) i prikazane su u tzv. Valence – Arousal ravnini. Na slici 4. prikazan je Russellov 2-dimenzionalni model s emocijama raspoređenim u prostoru određenom dimenzijama ugode i pobuđenosti.



*Slika 4. Russellov 2-dimenzionalni model*

Dimenzionalni pristup izbjegava stvaranje umjetne kategorizacije emocija i imenovanja emocionalnih stanja, jezično je neovisan te omogućava jednostavniju upotrebu i lakše razlikovanje emocionalnih stanja. Kod diskretnog pristupa, gdje se emocije imenuju, ne postoje jasne granice i odnosi među emocionalnim kategorijama. Za razliku od diskretnog pristupa, dimenzionalni pristup omogućuje ljudima da ocijene kako se osjećaju koristeći skale ugode i pobuđenosti te je na taj način emocije jednostavno kvantificirati.

## 4.2 Metodologija detekcije emocionalnih stanja

Zadnjih godina su se intenzivirala istraživanja u području automatskog prepoznavanja emocija. Većina istraživača pokušava prepoznati emocije uz pomoć fizioloških signala. Neki od njih su kao izvor informacija koristili samo GSR signal [33], dok su ostali kombinirali više signala: GSR, BVP, EMG, temperaturu kože i disanje [34], BVP, EMG, GSR i temperaturu kože [35] te ECG i GSR signale [36].

Različiti istraživači koriste izmjerene signale da bi dobili razne informacije kao što su: detektiranje emocija [33, 36, 37, 38], zdravstveno stanje [39], razinu aktivnosti [40] i razne informacije za analizu performansi bicikliranja [41].

Općenito, izgradnja sustava za automatsku detekciju emocionalnih stanja može se podijeliti na sljedeće korake:

1. skupljanje signala
2. obrada sirovog signala
3. izvlačenje značajki
4. odabir najboljih značajki
5. odabir klasifikatora
6. treniranje sustava
7. testiranje sustava

Na slici 5. prikazana je blok-shema sustava za detekciju emocija koja se koristila u svim istraživanjima navedenim u literaturi te u našem praktičnom radu. Cilj sustava je prepoznati emocionalno stanje korisnika na temelju bio signala pa se upravo ti signali koriste kao ulazni podaci sustava.

Ulazni signali

Obrada sirovog signala

Izvlačenje značajki

Klasifikacija

Emocionalno stanje

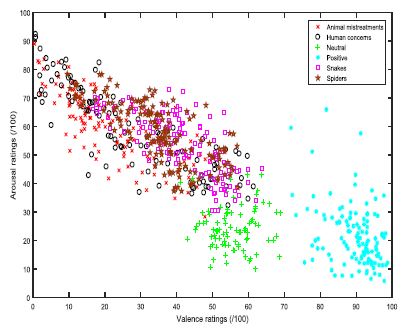
*Slika 5. Sustav za detekciju emocionalnog stanja*

Prva faza u procesu detekcije emocija je obrada sirovih bio signala, što uključuje pretprocesiranje, detekciju karakterističnih oblika te izvlačenje dodatnih fizioloških signala, poput srčanog pulsa ili HRV-a. Sljedeća faza u procesu je izvlačenje značajki iz procesiranog signala. Ovisno o istraživanju, razlikuje se broj i vrsta značajki koje se koriste i njihov broj može varirati i do nekoliko stotina. Najčešće korištene značajke su srednja vrijednost, varijanca, standardna devijacija, nagib, srednja vrijednost prve derivacije, minimalna vrijednost, maksimalna vrijednost te srednje vrijeme porasta pojedinog signala u vremenskoj domeni signala. U frekvencijskoj domeni, najčešće korištena značajka je gustoća spektralne snage signala. U posljednjoj fazi se na temelju odabranih značajki i korištenjem istreniranog klasifikatora primjenjenog na testnim podacima određuje emocionalno stanje u kojem se korisnik nalazi. Ovisno o istraživanjima, kao izlaz se dobije diskretna emocija, ili neka od klasa ugode i pobuđenosti (niske i visoke razine ugode i pobuđenosti)

### 4.2.1 Elicitacija i prikupljnje signala

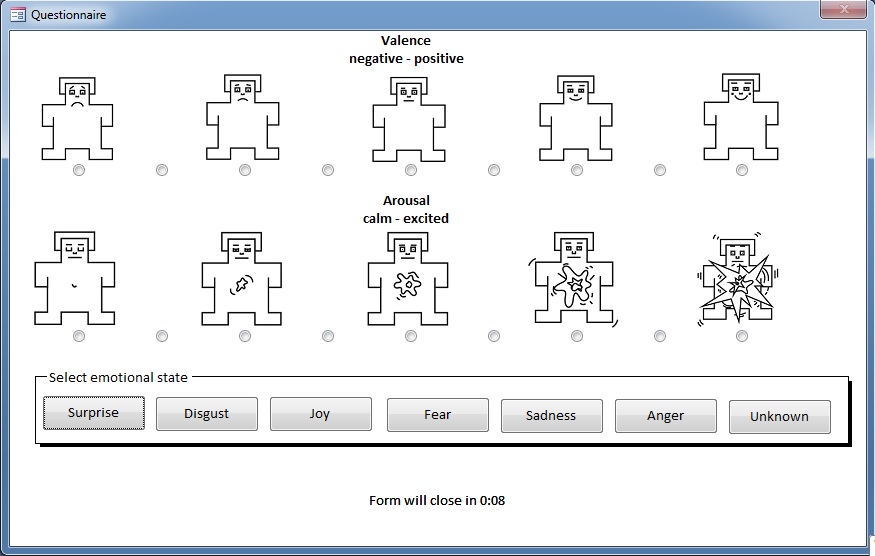
Za dobivanje kvalitetne baze podataka koja će biti iskorištena za treniranje i validaciju sustava najvažnije je osmisliti i dobro provesti eksperiment. Za prikupljanje biosignala koriste se razni uređaji i senzori, kako oni pogodni za laboratorijske uvjete tako i komercijonalni uređaji. Budući je za mjerenje svih vrsta bio signala potrebno priključiti elektrode na dijelove ljudskog tijela često sudionici eksperimenta potpisuju svojevoljni pristanak na eksperiment [37]. Eksperimenti se najčešće održavaju u laboratorijskim uvjetima i pod manje-više idealnim uvjetima, bez buke, ometanja, uz sobne temperature i bez prevelike osvjetljenosti sobe. Također sudionici ne smiju imati kraj sebe pametne telefone. To su, naime, sve čimbenici koji mogu utjecati na proces izazivanje emocija kod sudionika eksperimenta. Samo trajanje eksperimenta varira od nekoliko minuta do preko sat vremena. U tom periodu postoje intervali u kojima se korisnik pobuđuje, u kojima se korisnik opušta tj. priprema za sljedeći proces (eng. *Trial*) i u kojima ocjenjuje stupanj doživljene emocije kao diskrentnu vrijednost ili kao stupanj doživljene ugode i pobuđenosti. Općenito se može reći da korisnik sudjeluje u eksperimentu po sesijama (eng. S*ession*) koji se sastoje od određenog broja procesa. Ukoliko istog korisnika podvrgnemo testiranju u više od jedne sesije to nam omogućava da naporavimo jednokorisničku (engl. *single-user*) klasifikaciju emocija, a ukoliko se testira više različitih korisnika onda govorimo o višekorisničkoj (engl. *multi-user*) klasifikacija emocija. Trajanje intervala pripreme, pobude i popunjavanja upitnika variraju tj. nema jednoznačene mjere. Vrijeme pripreme se najčešće realizira kroz prikaz crnog ekrana ili crnog ekrana sa malim bijelim križićem u sredini slike. Naravno sva ta vremena je potrebno sinkronizirati sa izmjerenim signalom da bi se znali početci i krajevi pojedinih intervala.

Kako je ponekad emocije teško izazvati, postoje razne metode za elicitacije emocija kao što su samopoticanje, zamišljanje i korištenje vanjskih stimulansa (slika, zvuk, video i video-igre). Međutim istraživači nerjetko dizajniraju i posebne aplikacije u kojma se pojavljuju slike, zvukovi i video isječci iz notiranih baza podataka. Tako postoji velik broj notiranih baza podataka za poticanje emocija kao što su IAPS (eng. *International Affective Picture System*), IADS (eng. *International Digitized Sound System*) i GAPED (eng. *The Geneva affective picture database*) [42]. GAPED baza je relativno nova i velika multimedijska baza podataka sa 730 slika spremljenih u 6 mapa pod nazivima "A", "H", "N", "P", "Sn", "Sp". Svaka od ovih mapa predstavlja jednu semantičku kategoriju: "A" za "Animal mistreatments" (maltretiranje životinja), "H" (potrebiti ljudi), "N" (neutralne), "P" (pozitivne), "Sn" za Snakes (zmije) i "Sp" za Spiders (paukovi). Svaka sadrži preko 100 slika. Sve slike iz baze podataka su izrezane i uvećane na veličinu od 640 × 480 piksela i svaka je jedinstveno imenovana. Skale za ocjenjivanje ugode (*valence*) i pobuđenosti (*arousal*) su u rasponu od 0 do 100 bodova. Slika 6. prikazuje ocjene ugode i uzbuđenja u *valence-arousal* ravnini za svaku sliku. Četiri mape ("A", "H", "Sp" i "Sn") su emocionalno negativne, dok su druge dvije ("N" i "P") emocionalno pozitivne.



*Slika 6. Položaj ocjena za ugodu i pobuđenost koristeći GAPED bazu podataka*

Budući da ljudi različito reagiraju na istu vrstu pobude, a da bi bili sigurni da je korisnik doživio određenu razinu intenziteta emocionalnog stanja istraživači u svoje eksperimente dodaju i samoocjenivanje tj. razinu doživljene ugode i pobuđenosti. To se realizira u obliku upitnika koji se predoči pred korisnika nakon ostvarene pobude. U tu svrhu najčešće se koristi SAM (Self-assessment manikins) metoda u kojoj korisnici na vizualni način ocjenjuju stupanj doživljenog osjećaja ugode, pobuđenosti. [43]. Obje ljestvica su realizirane u rasponu od 1 do 9. Ukoliko se radi o diskretnom pristupu tada se u upitniku pojavljuju i diskretna emocionalna. Primjer jednog kombiniranog SAM upitnika prikazan je na slici 7.



*Slika 7. Primjer samoocjenjivanja pomoću SAM upitnika u kombinaciji sa diskretnim emocionalnim stanjima*

Istraživači su u [44] prikupljali EEG signale i mjerili HR putem pulsnog oksimetra. Koristili su IAPS bazu podataka za pobudu i koristili sessije od 60 procesa od kojih je svaki proces trajao 5 sek za pripremu, 6 sek za prikaz IAPS slike za pobudu te 15 sek za upitnik. Sudjelovalo je 16 korisnika. Prepoznavali su 6 osnovnih diskretnih emocionalnih stanja: sreća, tuga, strah, bijes, iznenađenje i gađenje.

U [35] se se prikupljali i mjerili EMG, GSR, BVP signale te temperatura koriska,a također su se koristile slike iz IAPS baze podataka za pobudu. Sudjelovalo je 26 korisnika i prepoznavalo se 5 deriviranih diskretnih emocionalnih stanja: normalno, tužno, neraspoloženo, radosno, stresno i nepoznato. Sessija se sastojala od 4 grupe od po 5 slika koje su bile prikazane u slideshow obliku sa 5 sekundi trajanja za svaku sliku. Nakon svake grupe bio je prikazan upitnik.

Prikupljanje i obrada EEG signala za detekciju emocija u realnom vremenu predložena je u [45]. Istraživači su za ponudu korisili GAPED bazu slika i zvučne isječke klasične muzike. Sesija se sastojala od 5 procesa,a svaki od procesa je imao 2 dijela koji su trajali 60 sek unutar kojih se pojavljivao niz od 10 slika sa zvukom u pozadini. Ta 2 dijela su trebali izazvati 2 diskretne emocije: sretan i tužan. Između prikaza ta dva dijela pojavio bi se crni ekran čije je trajanje bilo 12 sekundi koji je služio kao pripremni stimulans.

U članku [46], istraživači su kao izvor informacija koristili EMG i GSR signale. Detekcija emocija je korištena u video-igrama, tako da bi se scenarij igre prilagodio emocijama detektiranim u stvarnom vremenu. Istraživači su koristili ljestvice ugode i stresa. Ljestvica uzbuđenja je podijeljena u tri skupine: normalna, visoka i jako visoka. Ljestvica ugode je podijeljena u dvije skupine: pozitivna i negativna.

### 4.2.2 Obrada sirovog signala

Obrada signala znatno ovisi o namjeni sustava tj. da li se radi o sustavu koji detektira emocionalna stanja u realnom vremenu ili ne. Većina istraživanja se suočavala sa off-line obradom signala pa će i veći fokus biti stavljen na taj način rada. Svaki uređaj koji mjeri bio signale snima signale sa određenom frekvencijom uzorkovanja. Postoje neke preporučene frekvencije uzorkovanja npr. GSR signal od 200 - 500Hz ali u brojnim istraživanjima koristile su se različite frekvencije uzorkovanja signala. Budući da svaki bio signal nosi puno šuma sa sobom, a naročito EEG signal, potrebno je procesiranje signala tj. uklanjanje šuma

Tako su se u [36] snimali EKG i GSR signali, sa frekvencijom uzorkovanja od 250Hz odnosno 80 kHz. Za filtriranje signala koristili su 10 Hz eliptičan filter za GSR signal odnosno 75 Hz Savitzky-Golay filter za EKG signal. Također za EKG signal primjenjena je wavelet dekompozicija 12-tog nivoa koristeći db6 wavelet.

U [45] za procesiranje EEG signala koristio se urezni (notch) filzter od 50Hz te wavelet dekompozicija budući se EEG signal promatra kroz 5 frekvencijskih bandova. Za GSR često se koristi i niskopropusni Batterworth filter od 0.3Hz [37]

### 4.2.3 Izvlačenje značajki signala

Statističke značajke signala su izvlačene kako iz vremenske, tako i iz frekvencijske domene. U vremenskoj domeni je korištena metoda izvlačenja značajki koja se koristila na Sveučilištu u Augsburgu [47]. Većina radova koristi klasične statističke značajke kao što su medijan, aritmetička sredina, standardna devijacija, minimum i maksimum, razlika između minimua i maksimuma te iste te značajke nakon derivacije signala prvog i viših redova. [33][34][36]. Istraživanje [50] je pokazalo da emocije traju od 0.5 do 4 sekunde, tako da mnogi radovi uzimaju i različite vremenske okvire za izvlačenje značajki. Pored klasičnih statističkih značajki koriste se i ove: broj lokalnih minimuma (eng. *Number of local minima*), frekvenciju prelaženja nula (eng. *Zero crossing rate*) te srednja vrijednost broja vršnih vrijednosti (eng. *Mean number of peaks*) [48-49].

Za izvlačenje značajki u frekvencijskoj domeni najčešće se koristi Welchova gustoća spektralne snage (PSD - engl. *Power spectral density*) [36-37].

Zbog individualnih razlika sudionika eksperimenata, izmjereni signali a i značajke se normaliziraju pomoću:

Xi je i-ti podatak inicijalnog uzorka, Ximin je minimalna vrijednost istog promatranog uzorka podataka, Ximax je maksimalna vrijednost promatranog segmenta podataka i Xi' je vrijednost uzorka nakon normalizacije.

Reduciranje značajki ima dvije prednosti: smanjenje troškova proračunavanja i uklanjanje šuma može dovesti do boljeg odvajanja klasa. Tako postoje dvije skupine tehnika:

1) Selekcija značajki: Analiza varijance (Analysis of Variance, ANOVA) je statistička metoda koja se koristi za odlučivanje o tome da li određena značajka pokazuje značajnu razliku između dvije ili više klasa. Samo N najznačajnijih značajki se uzima u obzir.

2) Stvaranje novog skupa značajki: Umjesto reduciranja značajki, moguće je izvući novi skup značajki iz originalnog. Dvije takve popularne metode su Analiza glavnih komponenata (Principal Component Analysis, PCA) i Fisherova projekcija (Fisher Projection, FP). značajki.

### 4.2.4 Klasifikacija – metode u detekciji emocionalnih stanja

Pregledom literature korištene u [44] vidi se da su se za određivanje emocionalnog stanja na temelju značajki dobivenih iz bio signala koristile različite metode strojnog učenja kao što su: metoda potpornih vektora (SVM), metode k-najbližih susjeda (K-Nearest Neighbor, KNN), linearne i nelinearne regresijske analize, diskriminantne analize (eng. discriminant analysis), neuronskih mreža, Bayesove klasifikacijske metode, skrivenih Markovljevih lanaca (Hidden Markov Model, HMM) i dinamičkih stabala odlučivanja. Najčešće korištene metode su:

1) SVM (engl. *support vector machine*) je algoritam za nadzirano strojno učenje koji kreira skup hiper-ravnina (engl. *hyperplanes*). Hiper-ravnina je bilo koji potprostor nekog prostora n-te dimenzije, a čija je dimenzija n-1. Algoritam kreira set hiper-ravnina u beskonačno-dimenzionalnom prostoru koji može biti korišten za klasifikaciju. Radi se o neprobabilističkom binarnom linearnom klasifikatoru. Svaki podatak je postavljen kao točka u n-dimenzionalnom prostoru gdje je n broj značajki. Svaka značajka predstavlja određenu koordinatu u prostoru. Klasifikacija se radi tako da se nastoji naći hiper-ravnina takva da dovoljno razlikuje dvije klase. SVM može biti korišten i za klasifikaciju i za regresiju, ali je češće korišten kod klasifikacije. Tako se SVM algoritam koristio u [38] u kojem su se mjerili GSR i EKG, HRV i temepratura kože. Točnost prepoznavanja je korištenjem statističkih značajki za 3 klase (tužan, ljut, stres) iznosila 78,4%, a korištenjem 4 klase (tužan, ljut, stres, iznenađenje) iznosila je 61,8% U [34] su pored GSR signala korišteni i BVP, EMG, temeperatura kože i brzina disanja. Točnost prepoznavanja za 6 diskretnih stanja: sreća, zadovoljstvo, uznemirenje, strah, neutralno i tuga. Koristeći ovaj klasifikator točnost prepoznavanja je bila 92 %.

2) KNN (engl. *K-nearest neighbour*) je algoritam za nadzirano strojno učenje, jednostavan je i intuitivan. To je algoritam koji se temelji na učenju na osnovu primjer gdje se novi podaci klasificiraju temeljeno na spremljenim oznakama. Broj k je broj susjeda koji utječu na klasifikaciju. KNN je moćan, a i jako jednostavan algoritam koji se uspješno koristi u raznolikim područjima: komercijalni sustavi oglašavanja, računalni vid, otisak prsta... Kao i SVN, može biti korišten i za klasifikaciju i za regresiju. Taj algoritam se koristio u [36] u kojem su se mjerili GSR i EKG signali. Točnost prepoznavanja se korištenjem PSD značajki za 2 klase (sretan-tužan) je iznosila 75%, a korsiteći statističke značajke iz vremenske domene 80,64%. Slični su rezultati bili i kod ostalih kombinacija klasa (sretan-neutralan i tužan-neutralan).

3) Bayesova mreža: Bayesova mreža je vjerojatnosni grafički model koji utvrđuje vjerojatnosnu relaciju između događaja od važnosti. U članku [42], istraživači su kao izvor informacija koristili EMG i GSR signale. Detekcija emocija je korištena u video-igrama, tako da bi se scenarij igre prilagodio emocijama detektiranim u stvarnom vremenu. Istraživači su koristili ljestvice ugode i stresa. Ljestvica uzbuđenja je podijeljena u tri skupine: normalna, visoka i jako visoka. Ljestvica ugode je podijeljena u dvije skupine: pozitivna i negativna. Za detekciju emocionalnog stanja se koristi Bayesova mreža. Može biti detektirano 5 emocionalnih stanja: strah, frustracija, opuštenost, sreća i uzbuđenost. Naive Bayes klasifikator se koristio u [36]. Točnost prepoznavanja se korištenjem PSD značajki za 2 klase (sretan-tužan) je iznosila 74,47%, a korsiteći statističke značajke iz vremenske domene 50%. Slični su rezultati bili i kod ostalih kombinacija klasa (sretan-neutralan i tužan-neutralan). Još jedno važno povezano istraživanje je [49]. Temelji se na mjerenju EEG, ECG, GSR signala i aktivnosti lica. Pošto su emocije poticane koristeći i zvuk i video, a u obzir se uzimalo više različitih izvora informacija (izrazi lica, govor i fiziološki signali), za prikupljanje, organizaciju i sinkronizaciju podataka je bila potrebna baza podataka. Istraživači su koristili multimodalnu (ASCERTAIN) bazu podataka za jednostavnije razumijevanje poveznica između emocionalnih atributa i čovjekovih osobina.

Iako je Bayesova mreža u istraživanju imala lošiju točnost prepoznavanja od SVM i KNN klasifikatora ne bi je trebalo zaneariti budući da nam Bayesove mreže mogu dati uvid u skrivene odnose između bioloških značajki i emocija, od kojih su mnoge još nepoznate.

4) Diskriminantna analiza: Diskriminantna analiza je varijacija analize mnogostruke linearne regresije za predviđanje učestalosti ili neučestalosti nekog događaja. Na račun nenumeričke prirode predikanta diskriminantna se analiza koristi kao vrsta regresijske funkcije koja se obično izvodi na takav način da pozitivne vrijednosti funkcije odgovaraju "učestalosti", a negativne vrijednosti "neučestalosti." U [34] LDF (Fisher’s linear discriminant function) klasifikacija je upotrebljena za prepoznavanje diskretnih emocionalnih stanja (sreća, zadovoljstvo, uznemirenje, strah, neutralno i tuga). Točnost prepoznavanja iznosila je 90 %. Također u [37] korišten je isti LDF klasifikator gdje je točnost prepoznavanja diskretnih stanja na podacima za trening bila za sreću 65,42%, iznenađenje 71,89%, gađenje 67,24%, tuga 65,27%, ljutnja 62,86% i strah 79,59%. Na podacima za test točnost je bila za sreću 61,15%, iznenađenje 77,73%, gađenje 57,78%, tuga 58,90%, ljutnja 44,93% i strah 72,10%.

5) Ostale metode: Osim navedenih metoda, za klasifikaciju emocija na temelju fiziologije rijetko se koriste neke napredne metode poput HMM-a, koje su česte prilikom klasifikacije emocija na temelju glasa te izraza lica i gesti. Tako u članku [48], istraživači koriste EEG, GSR, EMG, BVP, elekrookulogram (EOG) i temperaturu kože kao izvor informacija. Radi se o jako važnom i zanimljivom radu budući da je u njemu razvijena baza podataka za poticanje emocija koja u sebi sadrži govor, vizualne i audio-vizualne podatke. Prepoznavale su se diskretne emocije: neutralan, panika, veselje, tuga, sreća, gađenje, ljutnja, iznenađenje i strah korištenjem HMM klasifikatora.

## 4.3 Dosadašnji rezultati i budući rad

Naša dosadašnja istraživanja temeljila su se na prikupljanju bio signala snimljenih nosivim senzorskim sustavima s površine ljudske kože, njihovoj analizi, obradi i detekciji emocionalnog stanja temeljeno na modelu ugode i pobuđenosti. Osnovni dio dosadašnjeg rada fokusiran je na izgradnju kompaktnog sustava koji će se ostvariti korištenje senzora malih dimenzija kako bi zadovoljili korisnikovo pravo na udobnost i privatnost. Stoga je i izabran mali, lagani i kompaktni Shimmer3 uređaj koji zadovoljava te uvjete. Odlučeno je da se mjere samo GSR i PPG signali jer su za njihovo mjerenje dovoljna tri mala konektora na prstima nedominantne ruke. Mjerenje ostalih bio signala može stvoriti određenu neugodnost i narušavanje privatnosti samog korisnika, misleći pritom na EKG, EMG i EEG signale. Naime za snimanje takvih signala potrebno je postavljanje elektrode na korisnikovim prsima, rukama i glavi. Manje bio signala je značilo manju točnost u prepoznavanju emocija, no stavljen je naglasak na udobnost i privatnost što će zasigurno imati značaj u budućim komercijalnim uređajima koji će koristiti male senzore za prepoznavanje emocija.

Osim toga, važan dio dosadašnjeg istraživanja je i razvijanje vlastite aplikacije za elicitaciju emocija koristeći slike iz GAPED baze. Pored toga razvijena je i vlastita baza podataka koja radi u pozadini aplikacije i koja sprema sve podatke o korisniku i njegove odgovore. Baza podataka je iskorištena za vremensku sinkronizaciju između bio signala i korisničkih odgovara na upitnik. Aplikacija prikazuje slučajne slike iz GAPED baze podataka sprema korisničke odgovore i vremenske oznake tako da je sinkronizacija između senzora i odgovora sudionika zajamčena. Aplikacija je modularna i fleksibilna, vremenski parametri prikazivanja mogu biti promijenjeni koristeći globalne parametre aplikacije i aplikacija može koristiti bilo koju vrstu multimedijskog sadržaja za elicitaciju ljudskih emocija. Nakon obrade podataka, upotrijebljeni su tipični statistički parametri iz vremenske i frekvencijske domene signala. Za izgrađivanje treniranog modula su korišteni KNN i SVM klasifikatori na temelju podataka za treniranje. Emocije su podijeljene u dvije skupine temeljene na vrijednostima ugode i pobuđenosti.

Fokus ovog istraživanja je bio na usporedbi dvaju modela: jednokorisničkog (eng. *Single-user model*) i višekorisničkog (eng. *Multi-user model*). U višekorisničkom modelu cilj je bio provjeriti postoji li mogućnost da se izgradi model koji može biti iskorišten univerzalno. Kao što je i očekivano, višekorisnički model nije bio prikladan za precizno detektiranje ljudskog emocionalnog stanja. Jednokorisnički model pruža bolju točnost i potencijalno može biti iskorišten u stvarnim situacijama. U višekorisničkom modelu sudjelovalo je 10 korisnika, dok je u jednokorisničkog modelu sudjelovalo 3 korisnika.

U obje metode kao značajke su odabrane statističke značajke u vremenskoj i frekvencijskog domeni. Za treniranje jednokorisničkog modela korištena je Leave-One-Session-Out) unakrsna validacija, dok je kod višekorisničkog modela korištena (Leave-One-Subject-Out) unakrsna validacija. Rezultati za ugodu (*valence*) i pobuđenost (*arousal*) za jednokorisnički model se nalaze u tablici 2.

*Tablica 2. Točnost (%) za jednokorisnički model*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Sreća | | Stres | |
| SVM | KNN | SVM | KNN |
| Vremenske značajke | 86,7 | 86,5 | 80,6 | 80,6 |
| PSD značajke | 86,7 | 86,7 | 80,6 | 80,5 |

Rezultati za sreću i stres za višekorisnički model se nalaze u Tablici 3.

*Tablica 3. Točnost (%) za višekorisnički model*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Sreća | | Stres | |
| SVM | KNN | SVM | KNN |
| Vremenske značajke | 67 | 65,7 | 67,7 | 68,3 |
| PSD značajke | 66,7 | 66,7 | 68,3 | 70,3 |

Dobiveni rezultati su pokazali da višekorisnički trenirani modeli imaju manju točnost za stres i za sreću i nisu baš prikladni za preciznu detekciju ljudskog emocionalnog stanja. S druge strane, jednokorisnički trenirani modeli imaju puno veću točnost i mogu potencijalno biti korišteni u stvarnim situacijama gdje prethodno treniranje ne predstavlja prepreku.

# 5. ZAKLJUČAK

Detekcija emocija na temelju fizioloških signala predstavlja vrlo izazovan problem. Prijašna istraživanja na ovom području bila su fokusirana na analizi glasa te izrazima lica. Budući da fiziološki signali imaju mnoge prednosti u odnosu na gore spomenute pojave, a ponajviše znog nemogućnosti manipulacije sa fiziološkim signalima, istraživanje u tom području doživilo je veliki napredak. U početku su to bila istraživanja sa samo jednim subjektom te mogućnosti relativno uspješne detekcije malog skupa emocionalnih stanja. Kasnije, razvojem i usavršavanjem metoda selekcije značajki te korištenjem naprednih i sofisticiranih metoda klasifikacije točnost detekcije se povećava, sustavi postaju sve robousniji i pouzdaniji te neovisni o subjektu. Rezultati najnovih istraživanja pokazuju pomake prema razvoju sustava za detekciju emocionalnih stanju u realnom vremenu neovisno o subjektu te na većem skupu emocionalnih stanja. Naravno da se detekcija emocionalnih stanja može kombinirati i sa ostalim metodama uključujući detekciju na osnovu izraza lica, položaja očiju i govora te na taj način iskoristiti najbolje značajke od svakoga. U tom smjeru ide i razvoj nosivih sučelja koji postaju sve manjih, kompaktniji i pouzdaniji. Njihova je osnovna zadaća snimiti bio signale na što pouzdaniji način pritom ne narušavajući korisnikovu udobnost i privatnost. Uspješno izgrađeni i testirani model za detekciji emocionalnih stanja našao bi primjenu u mnogobrojnim područjima, a naročito u zdravstveno-dijagnostičkoj djelatnosti.

Ključnu ulogu u uspješnoj detekciji emocionalni stanja ima pravilan odabir značajki pa će daljni rad bili usmjeren na pronalaženje novih značajki koji bi povećali točnost detekcije.

# LITERATURA

[1] P. Ekman and W. Friesen. 1982. Measuring facial movement with the facial action coding system. In Emotion in the human face (2nd ed.), New York: Cambridge University Press.

[2] S. Mann, “Wearable computing as means for personal empowerment,”, Keynote Address for The First International Conference on Wearable Computing ICWC-98, Fairfax VA, May 1998, S interneta: http://wearcomp.org/wearcompdef.html, 31. svibnja 2017.

[3] R. W. Picard, J. Healey, “Affective wearables,”, vol. 1, Issue: 4, pp 231240, Dec. 1997

[4] K. Wac, C. Tsiourti, “Ambulatory Assessment of Affect: Survey of Sensor Systems for Monitoring of Autonomic Nervous System’s Activation in Emotion,”, IEEE Trans. Affect. Comp., vol. 5, pp. 251272, Jun. 2014

[5] K. Y. Chen,D. R. Bassett, “The technology of accelerometry based activity monitors: Current and future,”. Med. Sci. Sports Exerc., vol. 37, pp. S490–S500, Nov. 2005.

[6] J. Fahrenberg, M. Myrtek, K. Pawlik, and M. Perrez, “Ambulatory assessment—monitoring behavior in daily life settings,” Eur. J. Psychol. Assess, vol. 23, no. 4, pp. 206–213, Sep. 2007

[7] M.Z. Poh, N. C. Swenson, and R. W. Picard, “A wearable sensor for unobtrusive, long-term assessment of electrodermal activity,” IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 57, no. 5, pp. 1243–1252, May 2010.

[8] M. Packer, W. T. Abraham, M. R. Mehra, “Utility of Impedance Cardiography for the Identification of Short-Term Risk of Clinical Decompensation in Stable Patients With Chronic Heart Failure,” J. Am. Coll. Cardiol., Vol. 47, Issue 11, pp 2245–2252, Jun. 2006

[9] J.A. Sukor, M.S. Mohktar, S.J. Redmond, N.H. Lovell “Signal Quality Measures on Pulse Oximetry and Blood Pressure Signals Acquired from Self-Measurement in a Home Environment”, IEEE J. Biomed. Health Inform., vol. 19, Issue 1. pp. 102-108, Jan. 2015

[10] Kim, S. H., D. W. Ryoo, and C. Bae, “U-healthcare system using smart headband,” In Proceedings of 30th Annual International IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference 2008 , Vancouver,British Columbia, Canada, pp. 1557–1560

[11] D. Curone, E. L. Secco, A. Tognetti, G. Loriga, G. Dudnik, “Smart garments for emergency operators: The ProeTEX project,” IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed., vol. 14, pp. 694 - 701,Apr. 2010

[12] S. Salehi, G. Bleser, D. Stricker, “Design and Development of Low-cost Smart Training Pants (STants),” EAI 4th Int. Conf. on Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), pp. 51-54, Nov. 2014

[13] K. Aminian, B. Mariani, A. Paraschiv-Ionescu, C. Hoskovec, C. Büla, “Foot worn inertial sensors for gait assessment and rehabilitation based on motorized shoes,” 33rd Annual Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Boston, Massachusetts USA, Aug. 2011

[14] J. Ruminski, M. Smiatacz, A. Bujnowski, A. Andrushevich, “Interactions with recognized patients using smart glasses,” 8th Int. Conf. on Human System Interaction, Jun. 2015

[15] P. R. Chai, K. M. Babu, E. W. Boyer, “The Feasibility and Acceptability of Google Glass for Teletoxicology Consults.,” J. Med. Toxicol., vol. 11, no. 3, pp. 283–287, Sep. 2015

[16] K. Malhi, S. C. Mukhopadhyay, J. Schnepper, M. Haefke, H. Ewald, “A Zigbee-based wearable physiological parameters monitoring system,” IEEE Sensors J., vol. 12, issue: 3, pp.423–430, Mar. 2012

[17] M. Peng, T. Wang, G. Hu, H. Zhang, “A wearable heart rate belt for ambulant ECG monitoring,”, IEEE 14th Int. Conf. on e-Health Networking, Applications and Services, Beijing, pp. 371-374, Oct. 2012

[18] A. Nasiri, S. A. Zabalawi, and G. Mandic, “Indoor power harvesting using photovoltaic cells for low-power applications,” IEEE Trans. Ind. Electron.., vol. 56, no. 11, pp. 4502-4509, Nov. 2009.

[19] V. Leonov, “Thermoelectric energy harvesting of human body heat for wearable sensors,” IEEE Sensors J., vol. 13, no. 6, pp. 2284–2291, Jun. 2013.

[20] M. Russo, P. Šoli and M. Stella, “Probabilistic modeling of harvested GSM energy and its application in extending UHF RFID tags reading range,” J. Electromagnet. Wave, vol. 27, Issue 4, Jun. 2013.

[21] “Shimmer,”. S interneta: http://www.shimmersensing.com/, 25. svibnja 2017

[22] M. van Dooren, J.J.G. de Vries, J. H. Janssen. 2012. Emotional sweating across the body: Comparing 16 different skin conductance measurement locations. Physiology & Behavior 106 (2012) 298–304, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.01.020

[23] M. Elgendi. 2012. On the Analysis of Fingertip Photoplethysmogram Signals. In Intelligence Information Processing and Trusted Computing (IPTC), J. Curr Cardiol Rev. 2012 Feb; 8(1): 14–25

[24] T. Kaufmann, S. M. Schulz, A. Köblitz, G. Renner, C. Wessig, and A. Kübler, “Face Stimuli effectively prevent Brain-computer Interface Inefficiency in Patients with Neurodegenerative Disease.,” Clin. Neurophysiol., vol. 124, no. 5, pp. 893–90, May. 2013

[25] P. Ofner, and G. R. Müller-Putz, “Movement target decoding from EEG and the corresponding discriminative sources: A preliminary study,” 37th Annual Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Aug. 2015 [

[26] Munawar, M. N., Sarno, R., Asfani, D. A., Igasaki, T., & Nugraha, B. T. (2016). Significant preprocessing method in EEG-Based emotions classification. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 87(2), 176.

[27] V. Mihajlovic, B. Grundlehner, R. Vullers, J. Penders, “Wearable, Wireless EEG Solutions in Daily Life Applications: What are we Missing?,” IEEE J. Biomed. Health Inform, vol. 19, issue: 1, Jun. 2014

[28] K. Kiguchi, Y. Hayashi, "An EMG-based control for an upper-limb power-assist exoskeleton robot", IEEE Trans. Syst., Man, Cybern, Part B, vol. 42, no. 4, pp. 1064-1071, Dec. 2012

[29] K. Yamasue, H. Hagiwara, O. Tochukibo, C. Sugimoto, and R. Kohno, “Measurement of core body temperature by an ingestible capsule sensor and evaluation of its wireless communication performance,” Advanced Biomedical Engineering, vol. 1, pp. 9–15, 2012.

[30] Cabanac, Michel (2002). "What is emotion?" Behavioural Processes 60(2): 69-83.

[31] Z. Milivojević, EMOCIJE Psihoterapija i razumijevanje emocija, Treće, prošireno i dopunjeno izdanj , PROMETEJ Novi Sad, 2000

[32] Scherer, K. R. (2005). "What are emotions? And how can they be measured?". Social Science Information. 44 (4): 693–727. [doi](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_object_identifier):[10.1177/0539018405058216](https://dx.doi.org/10.1177%2F0539018405058216)

[33] M. Monajati, S.H. Abbasi, F. Shabaninia. 2012. Emotions States Recognition Based on Physiological Parameters by Employing of Fuzzy-Adaptive Resonance Theory. International Journal of Intelligence Science, 2012, 2, 166-175. DOI: http://dx.doi.org/10.4236/ijis.2012.224022

[34] C. Maaoui, A. Pruski. 2010. Emotion Recognition through Physiological Signals for Human-Machine Communication. Cutting Edge Robotics 2010, Vedran Kordic (Ed.), ISBN: 978-953-307-062-9, InTech

[35] A.M. Khan, M. Lawo. 2016. Wearable Recognition System for Emotional States Using Physiological Devices. eTELEMED 2016 : The Eighth International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine, ISBN: 978-161208-470-1 131

[36] P. Das, A. Khasnobish, D.N. Tibarewala. 2016. Emotion Recognition employing ECG and GSR Signals as Markers of ANS. Conference on Advances in Signal Processing (CASP)

[37] G. Wu, G. Liu, M. Hao. 2010. The analysis of emotion recognition from GSR based on PSO. In Intelligence Information Processing and Trusted Computing (IPTC) , 28-29 Oct. 2010

[38] K.H.Kim, S.W.Bang, S.R. Kim. 2014. Emotion recognition system using shortterm monitoring of physiological signals. Med. Biol. Eng. Comput., 2004, 42, 419-427

[39] N. Amour, A. Hersi, N. Alajlan. 2004. Implementation of a Mobile Health System for Monitoring ECG signals. BioMedCom 2014 Conference, Harvard University, December 14-16

[40] E. Fortune, M. Tierney, C. Ni Scanaill. 2011. Activity Level Classification Algorithm Using SHIMMERTM Wearable Sensors for Individuals with Rheumatoid Arthritis. 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS Boston, Massachusetts USA

[41] R. Richer, P. Blank, D. Schuldhaus. 2014. Real-time ECG and EMG Analysis for Biking using Android-based Mobile Devices. 11th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks

[42] E. S. Dan-Glauser and K. R. Scherer. 2011. The Geneva affective picture database (GAPED): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance. Behavior Research Methods, vol. 43, no. 2, pp. 468–477

[43] M.M. Bradley and P.J. Lang. 1994. Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential. *J. Behav. Ther. Exp. Psychiatry ,* Vol. 25, No. I. pp. 49-59

[44] H. Hamdi, P. Richard, A. Suteau. 2012. Emotion assessment for affective computing based on physiological responses. 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)

[45] Jatupaiboon, N., Pan-ngum, S., & Israsena, P. (2013). Real-time EEG-based happiness detection system. The Scientific World Journal, 2013

[46] A. Nakasone, H. Prendinger, M. Ishizuka. 2005. Emotion recognition from electromyography and skin conductance. In Proceeding. of the 5th International Workshop on Biosignal Interpretation (pp. 219-222)

[47] J. Wagner, J. Kim, E. André. 2005. From Physiological Signals to Emotions: Implementing and Comparing Selected Methods for Feature Extraction and Classification. In *IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME 2005)*

[48] M. Soleymani, J. Lichtenauer,T. Pun. 2012. A Multimodal Database for Affect Recognition and Implicit Tagging. IEEE Transaction on Affective Computing, Vol. 3, No. 1

[49] R. Subramanian, J. Wache, M.K. Abadi. 2016. ASCERTAIN: Emotion and Personality Recognition using Commercial Sensors. J. IEEE Transaction on affective computing, Vol. 3, No. 1

[50] R. Levenson. 1988. Emotion and the autonomic nervous system: a prospectus for research on autonomic specificity. In H. Wagner, editor, Social Psychophysiology and Emotion: Theory and Clinical Applications, pages 17–42. John Wiley & Sons