|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\Users\Aleksandra\Downloads\zvanicni grb-ub-etf_novi_cir (2).gif | Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet  Katedra za signale i sisteme |  |



**DIPLOMSKI RAD**

**Naslov diplomskog rada**

**Kandidat**

Marta Bošnjak, br. indeksa 2017/0056

**Mentor**

dr Milica Janković, vanredni profesor

Beograd, *septembar* 2021. godine

# REZIME RADA

# SADRŽAJ

[REZIME RADA 2](#_Toc81904786)

[SADRŽAJ 3](#_Toc81904787)

[1 UVOD 4](#_Toc81904788)

[2 METODOLOGIJA RADA 6](#_Toc81904789)

[2.1 Ispitanici i procedura merenja 6](#_Toc81904790)

[2.2 FMCW radar 7](#_Toc81904791)

[2.3 Analiza merenih signala i izdvajanje vitalnih signala 9](#_Toc81904792)

[2.4 Klasifikacija uzrasta ispitanika 11](#_Toc81904793)

[3 REZULTATI 13](#_Toc81904794)

[3.1 Rezultati izdvajanja vitalnih signala 13](#_Toc81904795)

[4 DISKUSIJA I ZAKLJUČAK 17](#_Toc81904796)

[6 LITERATURA 18](#_Toc81904797)

[PRILOG A 21](#_Toc81904798)

[PRILOG B 22](#_Toc81904799)

# 1 UVOD

U protekloj godini više nego ikada u fokusu je beskontaktno praćenje vitalnih znakova. Osim što su beskontaktne metode ključne u tretiranju pacijenata u visoko zaraznim stanjima, one olakšavaju merenja u dužim vremenskim periodima, u slučajevima kada postoji mogućnost iritacije pacijenta - bilo da je u pitanju fizička ili psihička, ili u slučajevima postojanja većeg broja pacijenata koje je potrebno simultano pratiti. Vitalni znaci uključuju temperaturu tela, učestanost disanja (u nastavku BR skraćeno od engl. *Breathing Rate*) i kardiovaskularni puls (u nastavku HR skraćeno od engl. *Heart Rate*). Disanje i rad srca omogućeni su ili praćeni mnogobrojnim mehaničkim i termodinamičkim procesima, te se javlja veliki broj mogućih načina za njihovu detekciju i monitoring.

Pored mogućnosti koje pruža kamera na polju beskontaktnih merenja [1], različite konfiguracije radarskih sistema upotrebljavaju se u zdravstvu [2], u potragama i spasilačkim operacijama [3], kao i pri monitoringu u kućnom okruženju [4] ili kolima [5]. Korišćenjem CW (skraćeno od engl. *Continous Wave*) radara uspešno je urađen monitoring vitalnih signala pacijenata u krevetu uz detekciju pomeranja ili napuštanja kreveta [6], dok je proverena i upotreba IR-UWB (skraćeno od engl. *Impulse-Radio Ultra-Wideband*) radara za simultano praćenje respiracije i određivanja pulsa kroz pomeraje grudnog koša [7], odnosno pulsiranja karotidne arterije [8]. Ahmad i dr. pokazali su da se FMCW (skraćeno od engl. *Frequency Modulated Continuous Wave*) radar može upotrebiti za istovremeno praćenje vitalnih signala većeg broja ljudi [9], dok su se Sacco i kolege bavile lokalizacijom i merenjem vitalnih signala prilikom različitih orijentacija ispitanika. Isti tip radara korišćen je za monitoring pacijenata pri različitim scenarijima tokom spavanja [10].

Sa pojavom novih scenarija gde bi upotreba radara za praćenje pulsa i disanja bila od ključnog značaja, javlja se i potreba za većim bazama koje bi istraživači slobodno mogli da koriste za razvijanje novih algoritama i načina obrade. Motivisani ovim, Yoo i kolege objavljuju prvu otvorenu bazu signala sa FMCW radara i sinhronizovanih referentnih HR i BR signala [11]. Ispitanici su deca starosti do 13 godina, što bazi daje dodatni značaj s obzirom da su prethodno bile dostupne samo baze sa ispitanicima starijim od 20 godina [12], a deca i ispitanici starije dobi jesu fokus grupa pacijenata prilikom razvijanja beskontaktnih metoda monitoringa. Uz objavljivanje baze, dokazana je i mogućnost izdvajanja HR i BR parametara iz priloženih signala, a predložena je i moguća upotreba signala za određivanje starosne grupe ispitanika obučavanjem GoogLeNet arhitekture. Na polju klasifikacije zasnovane na radarskim signalima, de Goederen i dr. bavili su se određivanjem faze sna kod dece tokom polisomnografije [13].

Cilj ovog rada je da se iz signala objavljenih u radu [11] izdvoji informacija o HR i BR ispitanika. Autori rada [11] su uz bazu obezbedili i MATLAB program zaključanog izvornog koda koji vrši izdvajanje HR i BR parametara. S obzirom da je MATLAB licencirani softver, ovaj rad je takođe pokušaj repliciranja njihovih rezultata korišćenjem programskog jezika Python i *open-source* biblioteka. Izdvojeni vitalni signali biće korišćeni za formiranje nekoliko klasifikatora koji će za cilj imati određivanje starosne grupe kojoj ispitanik pripada.

Poglavlje 2 opisuje metodologiju rada, dok su u poglavlju 3 prikazani rezultati. Nakon toga u poglavlju 4 nalazi se diskusija i poređenje rezultata, zatim sledi zaključak. Krajnje poglavlje 5 sadrži spisak literature. Tabele i programski kodovi nalaze se u prilozima.

# 2 METODOLOGIJA RADA

## 2.1 Ispitanici i procedura merenja

Baza podataka koja se koristi u ovom radu snimljena je i objavljena u martu 2021. godine od strane grupe istraživača sa Univerziteta Hanyang u Seulu [11]. U studiji je učestvovalo 50 ispitanika mlađih od 13 godina. Njihovi roditelji obezbedili su saglasnost o učešću u ispitivanju. Detaljan pregled strukture ispitanika dostupan je u Prilogu A.

Ispitanici mlađi od 6 godina tokom snimanja signala nalazili su se u dečijem sedištu za automobil, dok su ispitanici stariji od 6 godina sedeli na stolici. FMCW radar orijentisan ka grudnom košu ispitanika prikupljao je signale u trajanju od 5 minuta. Kao referentni senzor korišćen je klinički ispitan senzor koji se masovno koristi za praćenje EKG parametara i ritma disanja u bolničkim uslovima. Povezan je putem 3 elektrode postavljene na različita mesta na torzou ispitanika. Postavka eksperimenta prikazana je na Sl. 1.

Detalji o korišćenoj opremi, komunikaciji modaliteta, i opširan opis procedure snimanja baze mogu naći u originalnom radu [11].

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| A picture containing floor, indoor  Description automatically generated | A picture containing floor, indoor  Description automatically generated |
| (a) | (b) |

Slika 1 Prikaz postavke eksperimenta (a) u slučaju ispitanika mlađeg od 6 godina (b) u slučaju ispitanika starijeg od 6 godina. Slike preuzete iz [11].

## 2.2 FMCW radar

FMCW radar [14, 15] emituje periodični signal čija se frekvencija linearno povećava. Ovakav signal naziva se čirp signal (engl. *chirp*). Na Sl. 2(a) je izgled signala u vremenskom domenu, a na Sl. 2(b) je prikazan f-t dijagram, odnosno zavisnost učestanosti signala u vremenu. Takođe, na Sl. 2(b) se uočavaju neki od karakterističnih parametara FMCW radara:

* – početna učestanost
* – propusni opseg
* – trajanje signala
* – nagib

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

Slika 2 (a) Čirp signal u vremenskom domenu. (b) Čirp signal na f-t dijagramu i ilustracija nekih od parametara FMCW radara

Vrednosti parametara korišćenog FMCW radara prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1 Parametri FMCW radara korišćenog pri akviziciji signala

|  |  |
| --- | --- |
| Parametar | Vrednost |
| Broj predajnih antena | 1 |
| Broj prijemnih antena | 4 |
| Početna frekvencija | 60,25 GHz |
| Propusni opseg | 3,75 GHz |
| Frekvencija odabiranja AD konvertora | 3000000 odbiraka/s |
| Trajanje čirp signala | 91,72 µs |
| Broj čirpova po frejmu | 2 |
| Broj frejmova u sekundi | 20 |
| Rezolucija distance | 4 cm |
| Maksimalna distanca | 11 m |

Generisani signal emituje se predajnom antenom, reflektuje se od objekta koji je na putu, nakon čega se detektuje prijemnom antenom. Predajni i prijemni signal dovode se na mešač, gde se dobija IF signal (skraćeno od engl. *Intermediate Frequency*). Primljeni signal na f-t dijagramu ima isti oblik kao predajni signal zakašnjen u vremenu. Odavde sledi da će IF signal biti sinusoida konstantne učestanosti, i na osnovu ove učestanosti može se odrediti kašnjenje signala, a time i udaljenost detektovanog predmeta od radara. Korišćena baza sadrži vrednosti IF signala za koje se nakon uprošćavanja može smatrati da imaju oblik

Chart

Description automatically generated

Slika 3 Organizacija bloka podataka za period od jedne sekunde. Slika preuzeta iz [11]

Sa svake antene po jednom frejmu dostupno je 512 odbiraka IF signala koji potiču od emitovanja 2 čirp signala (Sl. 3). Ovih 512 odbiraka koristi se za analizu frekvencijskog sadržaja, odakle se određuje učestanost IF signala, a zatim proračunava udaljenost detektovanog predmeta na osnovu izraza

gde je brzina prostiranja elektromagnetnog talasa, odnosno brzina svetlosti.

|  |  |
| --- | --- |
| (a) | Diagram  Description automatically generated |
| (b) | Chart, box and whisker chart  Description automatically generated |
| (c) | A picture containing histogram  Description automatically generated |

Slika 4 (a) f-t dijagram predajnog i prijemnog signala (b) signal na izlazu mešača, u zavisnosti od vremena (c) frekvencijski sadržaj IF signala; slike preuzete iz [15]

FMCW radar se izdvaja po svojoj sposobnosti da detektuje pomeraje objekta reda veličine dela talasne dužine emitovanog signala. Naime, ukoliko objekat načini pomeraj , doći će do promene i učestanosti i faze rezultujućeg IF talasa. Promena učestanosti imaće vrednost , dok će promena faze biti , gde označava vrednost talasne dužine signala učestanosti u vakuumu. Iako bi položaj maksimuma u amplitudskom spektru mogao da da informaciju o promeni učestanosti, rezolucija u frekvencijskom domenu nije dovoljno mala da bi se detektovale vibracije posmatranog objekta. Mali pomeraji objekta dovode do velikih promena faze rezultujućeg IF signala. Zato je potrebno posmatrati fazu komponente spektra na poziciji pika. Da bi se detektovalo kretanje poput pomeraja grudnog koša usled disanja ili rada srca upravo je potrebno posmatrati faznu razliku emitovanih i primljenih čirp signala. Korišćenje više od jednog čirp signala omogućava razlikovanje više objekata koji su na istoj udaljenosti od radara, kao i određivanje brzine objekata u prostoru.

## 2.3 Analiza merenih signala i izdvajanje vitalnih signala

Diagram

Description automatically generated

Slika 5 Procedura izdvajanja vitalnih signala i estimacije pulsa i učestanosti disanja

Za svakog ispitanika dostupno je 6000 frejmova sa sadržajem IF signala detektovanih na 4 prijemne antene. IF signal ima komplekse vrednost. Primer signala prikazan je na Sl. 6(a). Frekvencijski sadržaj IF signala se analizira proračunavanjem FFT.

|  |  |
| --- | --- |
| Chart  Description automatically generated |  |
| (a) | (b) |

Slika 6 (a) Primer kompleksnog i realnog dela IF signala (b) Primer apsolutne vrednosti range-FFT IF signala, nastale transformacijom 512 odbiraka IF signala

Na Sl. 6(b) prikazana je anvelopa amplitudskog spektra IF signala iz jednog frejma. Primećuje se da se u spektru, usled refleksije elektromagnetnih talasa i objekata u okolini predmeta od interesa, javlja veći broj pikova. Da bi se odredilo koji od pikova odgovara poziciji grudnog koša ispitanika, potrebno je pronaći distancu na kojoj se dešavaju najveće promene iz frejma u frejm. Ove promene govore o postojanju pokretnog predmeta u prostoru, a mera promena biće standardna devijacija amplitudskog spektra. Na prozoru trajanja 5 sekundi pronalazi se učestanost sa najvećom standardnom devijacijom vrednosti amplitudskog spektra, a odatle se proračunava i udaljenost predmeta od radara, po ugledu na [16].

Graphical user interface

Description automatically generated with medium confidence

Slika 7 Određivanje udaljenosti ispitanika od radara i izdvajanje vitalnih signala

Nakon što je ustanovljena udaljenost ispitanika od radara, potrebno je posmatrati fazu signala sa te udaljenosti, kao i razliku faza uzastopnih odbiraka. Signal razlike faza filtrira se tako da se razdvoje komponente koje potiču od otkucaja srca i komponente koje potiču od disanja. Puls tokom odrastanja u periodu od mesec dana starosti do 14 godina opada sa prosečne vrednosti 140 do vrednosti 80 otkucaja u minuti[[1]](#footnote-1), dok se kod ritma disanja uviđa pad od 45 do 18 udisaja u minuti [17]. Iz ovog razloga teško je odrediti tačan opseg frekvencija koje treba izdvojiti. Granične učestanosti filtara dobijene su iz maksimuma i minimuma referentnih vrednosti vitalnih signala. Korišćen je Butterworth filtar trećeg reda [18]. Butterworth filtar je pogodan jer njegova karakteristika ima najmanju talasnost (engl. *ripple*) u propusnom opsegu. Ovo je bitno da bi se maksimum frekvencijske karakteristike zadržao na istoj učestanosti nakon izdvajanja opsega filtrom. Korišćenje filtra unosi kašnjenje koje je eliminisano šiftovanjem odbiraka za onoliko mesta koliko iznosi maksimum grupnog kašnjenja.

Histogram

Description automatically generated with medium confidence

Chart

Description automatically generatedTimeline

Description automatically generated

Računa se spektar prozorovanog signala. Dužina prozora je postavljena na broj odbiraka koji odgovara intervalu od 10 s, a preklapanje uzastopnih prozora je 9 s. Analizom spektra filtriranog signala dobijena je učestanost rada srca i učestanost disanja. S obzirom da korišćen FMCW radar raspolaže sa 4 prijemne antene, za svaku sekundu ispitivanja dobijene su 4 procene ritma, a za konačnu procenu usvojena je njihova srednja vrednost.

## 2.4 Klasifikacija uzrasta ispitanika

Nakon što su izdvojene vrednosti HR i BR svakog ispitanika, interval trajanja 240 s deli se na 12 manjih nepreklapajućih intervala. Ovime je dobijena baza od 600 objekata koja se koristi za obučavanje i evaluaciju klasifikatora.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| a) | b) |
|  | |
| c) | |

# 3 REZULTATI

## 3.1 Rezultati izdvajanja vitalnih signala

U svakoj sekundi snimka izvršena je procena vrednosti pulsa i ritma disanja, isključujući prvih 15 s u kojima se ne može izvršiti pouzdana procena jer nema dovoljno prethodnih informacija. Na slici su prikazani referentni signali i procene, zajedno sa količinom kretanja subjekta. Mera kretanja je razlika snage signala u uzastopnim trenutcima.

Chart, histogram

Description automatically generated

Bland-Altman (u nastavku skraćeno B&A ) plot [19, 20] pouzdan je način za određivanje sličnosti ili razlike dve merene veličine. Na x osi prikazana je srednja vrednost reference i estimacije, dok je po y osi njihova razlika. Uslov za validnost je da razlike imaju normalnu raspodelu, što je potvrđeno posmatranjem histograma. Na B&A plotu uviđa se pomeraj estimacija HR i BR u iznosu od 1,19 i -0,18 bpm respektivno, dok su vrednosti LoA (skraćeno od *Limit of Agreement*) -9,17 – 12,17 bpm i -5 – 4,65 bpm. Iako B&A plot definiše ove granice na osnovu opsega u kom će se nalaziti 95% vrednosti razlike, to da li su one prihvatljive mora se odrediti na osnovu drugih faktora vezanih za primenu dobijenih podataka.

Grafici koji prikazuju parove referentnih i merenih vrednosti prikazani su na slici. Sadrže i fitovanu pravu koja najbolje odgovara prikazanim podacima, kao i pravu bez ofseta, koeficijenta pravca 1 koja prikazuje potpuno poklapanje referentnih i estimiranih vrednosti. Na osnovu dijagrama iz rada [21] odabran je tip koeficijenta unutar-klasne korelacije (u nastavku ICC skraćeno od engl. *Intraclass Correlation Coefficient*). Ovi koeficijenti koriste se za određivanje pouzdanosti metode merenja odnosno korišćene instrumentacije. Pouzdanost je osobina mernog instrumenta i samog postupka merenja koja u određenom stepenu obezbeđuje doslednost merenja, tj. osigurava da u ponovljenim merenjima istim instrumentom na istom uzorku dobijemo iste ili vrlo slične rezultate [22]. Koeficijent označen sa ICC1 opisuje stepen konzistentnosti, dok ICC2 opisuje stepen apsolutnog slaganja dva merenja. Vrednosti ovih koeficijenata prikazane su u Tabeli.

|  |  |
| --- | --- |
| Chart, scatter chart  Description automatically generated | Chart, scatter chart  Description automatically generated |
| a) | b) |
|  |  |
| c) | d) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ICC1  Two-way mixed effects, consistency, single measurement | ICC2  Two-way mixed effects, absolute agreement, single measurement |
| HR | 0,906 | 0,904 |
| BR | 0,896 | 0,895 |

Dalje je posmatran kvalitet estimacije za svakog ispitanika zasebno. Za ocenu uspešnosti algoritma korišćen je signal dužine 240 sekundi. Ukoliko se sličnost dva broja, po ugledu na [23], definiše kao

sličnosti vremenskih serija X i Y, dužine n odbiraka, koje su korišćene su

* *mean* sličnost
* *root mean square* sličnost
* *peak* sličnost

Takođe je kao mera sličnosti razmatran kosinus ugla između vektora X i Y, ukoliko

bismo referencu i procene posmatrali kao vektor sa 240 koordinata.

Još jedna mera prikazana u tabeli je Pearson-ov koeficijent korelacije rxy. Tabele sa vrednostima nalaze se u Prilogu B.

Izdvojeni su rezultati ispitanika čija je mera sličnosti za estimaciju pulsa tsim najveća odnosno najmanja, kao i ispitanika sa najboljom i najgorom ocenom estimacije ritma disanja.

|  |  |
| --- | --- |
| Chart, histogram  Description automatically generated |  |
| a) | b) |
|  |  |
| c) | d) |

# 4 DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Razmatrani algoritam uspešno izdvaja informaciju u HR i BR parametrima iz signala dobijenih FMCW radarom. Ustanovljeno je da vrednosti ICC koeficijenta između 0,75 i 0,9 govore o dobroj pouzdanosti, dok su vrednosti iznad 0,9 indikator odlične pouzdanosti instrumenta odnosno postupka merenja [21], te se sudeći po vrednostima ICC parametra dobijenih u ovom radu može smatrati da je metoda veoma uspešna. Autori rada [11] korišćene baze prlikom obrade dobijali su vrednosti ICC 0,875 i 0,905 za merenje HR odnosno BR redom. Poređenjem vrednosti koeficijenata može se zaključiti da je algoritam u ovom radu pouzdaniji u slučaju određivanja HR u odnosu na originalni rad, odnosno da je određivanje BR manje pouzdano. Autori rada [11] takođe dobijaju manje vrednosti LoA sa Bland-Altman plota za podatke koje su prikazali.

Posmatranjem mere količine pomeranja ispitnika potvrđeno je da su radarski sistemi pouzdani samo u intervalima kada se ispitanik ne pomera. Određivanje udaljenosti ispitanika od radara putem pronalaženja odstojanja sa najvećom standardnom devijacijom na prozorima trajanja 5 s umanjuje artefakte usled sporih promena pozicije. Brzi pomeraji ispitanika najstavljaju da negativno utiču na uspešnost metode. Činjenica je da su ispitanici u ovom eksperimentu bili deca, koja se generalno u manjoj meri pridržavaju standardne procedure prilikom akvizicije. Sacco i kolege prilikom određivanja pulsa na odraslima dobijaju maksimalnu grešku od 4 bpm, dok je u slučaju učestanosti disanja ta greška 2 bpm [16].

Još jedan od problema koji se javlja kada su ispitanici deca jesu različiti opsezi normalnih učestanosti disanja i pulsa kod dece različitog uzrasta. Ne poznajući prethodno uzrast deteta teško je odrediti u kom delu spektra treba tražiti komponente koje zavise od disanja i rada srca. U cilju pronalaženja dobrog opsega ovaj algoritam oslanja se na poznavanje maksimuma i minimuma referentnih vrednosti. Algoritam dakle nije univerzalan jer zavisi od poznavanja uzrasta i stanja ispitanika. Iz tog razloga potrebno je baviti se klasifikacijom starosne grupe ispitanika na osnovu sirovih IF signala dobijenih sa radara. Nakon što se odredi starost ispitanika, normalni opseg učestanosti te starosne grupe bio bi korišćen za filtriranje signala. Razvijene su metode klasifikacije starosne grupe na osnovu facijalnih obeležja [24], međutim postojeće metode ne razlikuju dovoljan broj starosnih grupa kod dece. Pritom, korišćenje slike prilikom klasifikacije onemogućava korišćenje sistema u uslovima loše vidljivosti, a povlači i pitanje privatnosti potencijalnog subjekta. Ove prepreke ne javljaju se prilikom korišćenja radarskih sistema.

# 6 LITERATURA

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | G. de Haan i W. Verkruysse, „Editorial for Special Issue: Contactless Vital Signs Monitoring,“ *Applied Sciences,* t. 10, br. 1, p. 166, 2020. |
| [2] | F. Fioranelli, S. A. Shah i J. le Kernec, „Radar for Health Care: Recognizing Human Activities and Monitoring Vital Signs,“ *IEEE Potentials,* 2019. |
| [3] | N. Thi Phuoc Van, L. Tang, V. Demir, S. F. Hasan, N. Duc Minh i S. Mukhopadhyay, „Review-Microwave Radar Sensing Systems for Search and Rescue Purposes,“ *Sensors,* br. 13: 2879, 2019. |
| [4] | G. Diraco, A. Leone i P. Siciliano, „A Radar-Based Smart Sensor for Unobtrusive Elderly Monitoring in Ambient Assisted Living Applications,“ *Biosensors,* t. 7, br. 4, 2017. |
| [5] | S. K. Leem, F. Khan i S. H. Cho, „Vital Sign Monitoring and Mobile Phone Usage Detection Using IR-UWB Radar for Intended Use in Car Crash Prevention,“ *Sensors,* t. 17, 2017. |
| [6] | S. Schellenberger, K. Shi, F. Michler, F. Lurz, R. Weigel i A. Koelpin, „Continuous In-Bed Monitoring of Vital Signs Using a Multi Radar Setup for Freely Moving Patients,“ *Sensors,* br. 20, 2020. |
| [7] | Y. Lee, J. Y. Park, Y. W. Choi, H. K. Park, S. H. Cho, S. H. Cho i Y. H. Lim, „A Novel Non-contact Heart Rate Monitor Using Impulse-Radio Ultra-Wideband (IR-UWB) Radar Technology,“ *Scientific reports,* t. 8, br. 1, p. 13053, 2018. |
| [8] | J.-Y. Park, Y. Lee, Y.-W. Choi, R. Heo, H.-K. Park, S.-H. Cho, S. H. Cho i Y.-H. Lim, „Preclinical Evaluation of a Noncontact Simultaneous Monitoring Method for Respiration and Carotid Pulsation Using Impulse-Radio Ultra-Wideband Radar,“ *Scientific Reports,* br. 9, 2019. |
| [9] | A. Ahmad, J. C. Roh, D. Wang i A. Dubey, „Vital signs monitoring of multiple people using a FMCW millimeter-wave sensor,“ u *2018 IEEE Radar Conference (RadarConf18)*, 2018. |
| [10] | E. Turppa, J. M. Kortelainen, O. Antropov i T. Kiuru, „Vital Sign Monitoring Using FMCW Radar in Various Sleeping Scenarios,“ *Sensors,* br. 20, 2020. |
| [11] | S. Yoo, S. Ahmed, S. Kang, D. Hwang, J. Lee, J. Son i S. Cho, „Radar Recorded Child Vital Sign Public Dataset and Deep Learning-Based Age Group Classification Framework for Vehicular Application,“ *Sensors,* br. 2412, 2021 https://doi.org/10.3390/s21072412. |
| [12] | K. Shi, S. Schellenberger, C. Will, T. Steigleder, F. Michler, J. Fuchs, R. Weigel, C. Ostgathe i A. Koeplin, „A dataset of radar-recorded heart sounds and vital signs including synchronised reference sensor signals,“ *Scientific Data,* br. 7, 2020. |
| [13] | R. de Goedern, S. Pu, M. Silos Viu, D. Doan, S. Overeem, W. Serdijn, K. Joosten, X. Long i J. Dudink, „Radar-based sleep stage classification in children undergoing polysomnography: a pilot-study,“ *Sleep Medicine,* t. 82, pp. 1-8, 2021. |
| [14] | C. Iovescu i S. Rao, *The fundamentals of milimeter wave radar sensors,* Texas Instruments, 2020. |
| [15] | A. Ćupurdija, „Prototip FMCW radarskog sistema i njegova primena za određivanje udaljenosti objekta,“ 2020. |
| [16] | G. Sacco, E. Piuzzi, E. Pittella i S. Pisa, „An FMCW Radar for Localization and Vital Signs Measurement for Different Chest Orientations,“ *Sensors,* br. 3489, 2020. |
| [17] | S. Fleming, M. Thompson, R. Stevens, C. Heneghan, A. Plüddemann, I. Maconochie, L. Tarassenko i D. Mant, „Normal ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age: a systematic review of observational studies,“ *The Lancet,* t. 377, br. 9770, pp. 1011-1018, 2011. |
| [18] | G. Ellis, „Chapter 9 - Filters in Control Systems,“ u *Control System Design Guide*, Butterworth-Heinemann, 2012, pp. 165-183. |
| [19] | D. G. Altman i J. M. Bland, „Measurement in Medicine: The Analysis of Method Comparison Studies,“ *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician),* t. 32, br. 3, pp. 307-317, 1983. |
| [20] | D. Giavarina, „Understanding Bland Altman analysis,“ *Biochemia Medica,* t. 25, br. 2, pp. 141-151, 2015. |
| [21] | T. K. Koo i M. Y. Li, „A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research,“ *Journal of Chiropractic Medicine,* t. 15, br. 2, pp. 155-163, 2016. |
| [22] | I. Vidanović, Rečnik socijalnog rada, 2006. |
| [23] | C. Cassisi, P. Montalto, M. A. Aliotta, A. Cannata i A. Pulvirenti, „Similarity Measures and Dimensionality Reduction Techniques for Time Series Data Mining,“ u *Advances in Data Mining Knowledge Discovery and Applications*, 2012 http://dx.doi.org/10.5772/49941. |
| [24] | W.-B. Horng, C.-P. Lee i C.-W. Chen, „Classification of Age Groups Based on Facial Features,“ *Tamkang Journal of Science and Engineering,* t. 4, pp. 183-192, 2001. |

# PRILOG A

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ispitanik | Pol | Starost  (meseci) | Visina  (cm) | Težina  (kg) | BMI  (m/kg^2) | Sedište | Opseg ritma disanja  (bpm) | Opseg pulsa  (bpm) |
| 1 | Žensko | 38 | 97,5 | 16,3 | 17,15 | Da | 16 - 37 | 83 - 117 |
| 2 | Muško | 44 | 101,1 | 16,2 | 15,85 | Da | 19 - 44 | 96 - 125 |
| 3 | Žensko | 15 | 77,5 | 8,7 | 14,48 | Da | 26 - 56 | 117 - 150 |
| 4 | Muško | 54 | 102,0 | 16,6 | 15,96 | Da | 18 - 26 | 102 - 124 |
| 5 | Žensko | 95 | 125,9 | 28,8 | 18,17 | Ne | 13 - 39 | 83 - 112 |
| 6 | Žensko | 60 | 102,3 | 14,7 | 14,05 | Da | 15 - 29 | 86 - 119 |
| 7 | Muško | 34 | 101,0 | 14,7 | 14,41 | Da | 19 - 39 | 89 - 110 |
| 8 | Žensko | 25 | 91,3 | 13,2 | 15,84 | Da | 21 - 38 | 95 - 131 |
| 9 | Muško | 57 | 107,7 | 19,3 | 16,64 | Da | 15 - 27 | 82 - 107 |
| 10 | Muško | 82 | 127,0 | 22,7 | 14,07 | Ne | 20 - 31 | 80 - 100 |
| 11 | Muško | 117 | 145,7 | 48,8 | 22,99 | Ne | 22 - 34 | 81 - 105 |
| 12 | Žensko | 82 | 116,8 | 17,4 | 12,75 | Ne | 19 - 28 | 76 - 92 |
| 13 | Žensko | 95 | 125,6 | 23,0 | 14,58 | Ne | 17 - 24 | 82 - 99 |
| 14 | Žensko | 116 | 137,1 | 36,2 | 19,26 | Ne | 14 - 23 | 71 - 83 |
| 15 | Žensko | 53 | 102,4 | 15,2 | 14,50 | Da | 19 - 34 | 90 - 107 |
| 16 | Žensko | 95 | 131,9 | 33,1 | 19,03 | Ne | 9 - 25 | 76 - 91 |
| 17 | Žensko | 75 | 125,2 | 33,1 | 21,12 | Ne | 15 - 26 | 77 - 90 |
| 18 | Žensko | 22 | 88,2 | 12,7 | 16,33 | Da | 18 - 35 | 101 - 130 |
| 19 | Muško | 42 | 104,5 | 15,1 | 13,83 | Da | 15 - 39 | 106 - 128 |
| 20 | Muško | 69 | 115,7 | 19,9 | 14,87 | Da | 17 - 25 | 91 - 117 |
| 21 | Muško | 112 | 127,0 | 26,8 | 16,62 | Ne | 17 - 28 | 94 - 120 |
| 22 | Muško | 82 | 126,4 | 35,0 | 21,91 | Ne | 21 - 42 | 103 - 117 |
| 23 | Žensko | 84 | 125,0 | 36,6 | 23,42 | Ne | 13 - 31 | 74 - 95 |
| 24 | Muško | 75 | 121,0 | 23,0 | 15,71 | Ne | 15 - 31 | 72 - 92 |
| 25 | Muško | 21 | 84,2 | 12,0 | 16,93 | Da | 19 - 37 | 95 - 119 |
| 26 | Muško | 31 | 89,1 | 11,5 | 14,49 | Da | 14 - 35 | 89 - 110 |
| 27 | Muško | 31 | 93,0 | 14,4 | 16,65 | Da | 21 - 37 | 96 - 128 |
| 28 | Žensko | 32 | 92,4 | 14,5 | 16,98 | Da | 16 - 28 | 100 - 120 |
| 29 | Muško | 53 | 104,8 | 16,4 | 14,93 | Da | 16 - 39 | 88 - 108 |
| 30 | Žensko | 35 | 90,5 | 13,9 | 16,97 | Da | 19 - 27 | 87 - 111 |
| 31 | Žensko | 63 | 105,4 | 15,1 | 13,59 | Da | 18 - 24 | 81 - 106 |
| 32 | Žensko | 66 | 116,2 | 18,3 | 13,55 | Da | 13 - 26 | 83 - 109 |
| 33 | Žensko | 13 | 78,4 | 9,6 | 15,62 | Da | 24 - 33 | 106 - 119 |
| 34 | Muško | 9 | 73,1 | 9,6 | 17,97 | Da | 19 - 47 | 96 - 124 |
| 35 | Muško | 112 | 147,0 | 47,5 | 21,98 | Ne | 13 - 22 | 79 - 96 |
| 36 | Muško | 112 | 148,5 | 31,9 | 14,47 | Ne | 11 - 28 | 80 - 101 |
| 37 | Muško | 121 | 144,8 | 46,8 | 22,32 | Ne | 13 - 31 | 90 - 115 |
| 38 | Muško | 109 | 132,6 | 29,1 | 16,55 | Ne | 12 - 31 | 87 - 102 |
| 39 | Muško | 124 | 153,1 | 44,1 | 18,81 | Ne | 15 - 31 | 70 - 83 |
| 40 | Žensko | 29 | 90,8 | 13,5 | 16,37 | Da | 27 - 36 | 95 - 116 |
| 41 | Žensko | 44 | 92,0 | 13,5 | 15,95 | Da | 19 - 39 | 102 - 120 |
| 42 | Žensko | 47 | 102,3 | 16,5 | 15,77 | Da | 20 - 27 | 102 - 135 |
| 43 | Žensko | 9 | 69,1 | 8,4 | 17,59 | Da | 26 - 40 | 115 - 133 |
| 44 | Muško | 40 | 100,0 | 14,5 | 14,50 | Da | 13 - 24 | 93 - 116 |
| 45 | Žensko | 7 | 73,2 | 9,6 | 17,92 | Da | 15 - 24 | 94 - 112 |
| 46 | Žensko | 42 | 95,4 | 13,2 | 14,50 | Da | 13 - 26 | 81 - 111 |
| 47 | Žensko | 9 | 74,0 | 9,3 | 16,98 | Da | 17 - 24 | 103 - 119 |
| 48 | Muško | 25 | 92,1 | 11,2 | 13,20 | Da | 12 - 24 | 94 - 115 |
| 49 | Žensko | 148 | 160,0 | 54,0 | 21,09 | Ne | 18 - 27 | 76 - 90 |
| 50 | Muško | 103 | 144,4 | 30,4 | 14,58 | Ne | 16 - 24 | 66 - 93 |

# PRILOG B

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| HR rezultati | | | | | |
| Ispitanik | psim | tsim | rtsim | cos | rxy |
| 1 | 0,970838 | 0,969465 | 0,969734 | 0,997146 | 0,141901 |
| 2 | 0,976701 | 0,975909 | 0,976034 | 0,998684 | 0,298788 |
| 3 | 0,968186 | 0,96656 | 0,966874 | 0,996886 | -0,31642 |
| 4 | 0,982078 | 0,981567 | 0,981664 | 0,999006 | 0,252989 |
| 5 | 0,97504 | 0,974027 | 0,974227 | 0,998015 | 0,228838 |
| 6 | 0,976483 | 0,975585 | 0,975761 | 0,998152 | -0,03207 |
| 7 | 0,973845 | 0,972809 | 0,972988 | 0,998276 | 0,067435 |
| 8 | 0,974786 | 0,973738 | 0,97395 | 0,997894 | 0,089969 |
| 9 | 0,975793 | 0,974849 | 0,975031 | 0,998084 | 0,043444 |
| 10 | 0,976065 | 0,975257 | 0,975374 | 0,998476 | 0,104939 |
| 11 | 0,975044 | 0,974165 | 0,974292 | 0,998588 | 0,044587 |
| 12 | 0,979275 | 0,978672 | 0,978758 | 0,998793 | -0,05548 |
| 13 | 0,98126 | 0,980781 | 0,980844 | 0,999341 | 0,417363 |
| 14 | 0,989159 | 0,988966 | 0,989004 | 0,999613 | 0,137452 |
| 15 | 0,977436 | 0,976714 | 0,976821 | 0,998947 | -0,17331 |
| 16 | 0,984777 | 0,984408 | 0,984477 | 0,9993 | 0,326028 |
| 17 | 0,982064 | 0,98155 | 0,981648 | 0,998954 | -0,06385 |
| 18 | 0,974413 | 0,973435 | 0,973597 | 0,998302 | 0,108119 |
| 19 | 0,981483 | 0,980951 | 0,981047 | 0,998937 | -0,14411 |
| 20 | 0,974907 | 0,973847 | 0,974071 | 0,998357 | -0,0597 |
| 21 | 0,973771 | 0,972819 | 0,97295 | 0,998612 | 0,217972 |
| 22 | 0,983776 | 0,983417 | 0,983464 | 0,999355 | 0,007202 |
| 23 | 0,969616 | 0,968361 | 0,968522 | 0,998695 | -0,15159 |
| 24 | 0,970429 | 0,969175 | 0,969363 | 0,998082 | -0,04516 |
| 25 | 0,977323 | 0,976583 | 0,976696 | 0,998602 | -0,0018 |
| 26 | 0,980894 | 0,980353 | 0,980442 | 0,998953 | 0,183359 |
| 27 | 0,968924 | 0,967611 | 0,967782 | 0,997999 | 0,31713 |
| 28 | 0,96801 | 0,966643 | 0,966808 | 0,998574 | -0,18425 |
| 29 | 0,980515 | 0,979878 | 0,98001 | 0,998739 | 0,23772 |
| 30 | 0,982732 | 0,982236 | 0,982337 | 0,999251 | 0,457205 |
| 31 | 0,978815 | 0,978044 | 0,978209 | 0,998732 | 0,214824 |
| 32 | 0,971241 | 0,969964 | 0,970192 | 0,998029 | 0,08122 |
| 33 | 0,985112 | 0,984787 | 0,984839 | 0,999465 | -0,02288 |
| 34 | 0,979651 | 0,979024 | 0,979132 | 0,998837 | -0,22639 |
| 35 | 0,983036 | 0,982591 | 0,98267 | 0,999141 | 0,100393 |
| 36 | 0,978107 | 0,977315 | 0,977475 | 0,998432 | 0,178857 |
| 37 | 0,974094 | 0,973016 | 0,973224 | 0,99784 | -0,08182 |
| 38 | 0,98474 | 0,98435 | 0,984431 | 0,999315 | 0,126622 |
| 39 | 0,977458 | 0,976681 | 0,976818 | 0,998901 | -0,22458 |
| 40 | 0,985377 | 0,985064 | 0,985114 | 0,999375 | 0,53332 |
| 41 | 0,984087 | 0,983698 | 0,983767 | 0,999204 | -0,02279 |
| 42 | 0,972315 | 0,971197 | 0,971372 | 0,997947 | 0,047987 |
| 43 | 0,987873 | 0,987617 | 0,987672 | 0,999471 | 0,048673 |
| 44 | 0,974951 | 0,974089 | 0,974204 | 0,998862 | 0,123164 |
| 45 | 0,98306 | 0,982654 | 0,982713 | 0,999277 | -0,07817 |
| 46 | 0,980494 | 0,97973 | 0,979932 | 0,998511 | 0,088931 |
| 47 | 0,985513 | 0,985181 | 0,985243 | 0,999358 | 0,125366 |
| 48 | 0,985458 | 0,985142 | 0,985195 | 0,999556 | 0,203518 |
| 49 | 0,979606 | 0,978958 | 0,979075 | 0,998668 | -0,13287 |
| 50 | 0,963548 | 0,961778 | 0,961989 | 0,997734 | -0,05038 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| BR rezultati | | | | | |
| Ispitanik | psim | tsim | rtsim | cos | rxy |
| 1 | 0,951678 | 0,947957 | 0,948675 | 0,992949 | 0,174264 |
| 2 | 0,959379 | 0,956924 | 0,957327 | 0,995964 | 0,436489 |
| 3 | 0,961811 | 0,959577 | 0,959973 | 0,995896 | 0,691637 |
| 4 | 0,991868 | 0,991752 | 0,991777 | 0,999767 | 0,905436 |
| 5 | 0,922434 | 0,912813 | 0,914707 | 0,978959 | 0,29926 |
| 6 | 0,957029 | 0,954179 | 0,954699 | 0,994295 | -0,34324 |
| 7 | 0,983676 | 0,983182 | 0,983299 | 0,99904 | 0,939384 |
| 8 | 0,964505 | 0,962269 | 0,962777 | 0,995622 | 0,464257 |
| 9 | 0,982092 | 0,981447 | 0,981617 | 0,999042 | 0,870398 |
| 10 | 0,980841 | 0,980096 | 0,980294 | 0,998467 | 0,579232 |
| 11 | 0,982639 | 0,982096 | 0,98222 | 0,998971 | 0,485362 |
| 12 | 0,987041 | 0,9866 | 0,986746 | 0,999065 | 0,51884 |
| 13 | 0,963455 | 0,961694 | 0,961895 | 0,996945 | 0,128602 |
| 14 | 0,972563 | 0,971236 | 0,971536 | 0,997254 | 0,228844 |
| 15 | 0,965597 | 0,96351 | 0,963993 | 0,996785 | 0,101018 |
| 16 | 0,946764 | 0,941612 | 0,94288 | 0,994387 | 0,753445 |
| 17 | 0,975582 | 0,974577 | 0,974787 | 0,997851 | 0,572494 |
| 18 | 0,956132 | 0,95226 | 0,953319 | 0,992337 | 0,298979 |
| 19 | 0,974475 | 0,973403 | 0,973621 | 0,997859 | 0,62553 |
| 20 | 0,982838 | 0,98227 | 0,982413 | 0,998851 | 0,741006 |
| 21 | 0,981563 | 0,981025 | 0,981125 | 0,99913 | 0,793554 |
| 22 | 0,943009 | 0,938186 | 0,938968 | 0,99381 | 0,236301 |
| 23 | 0,961103 | 0,958773 | 0,959192 | 0,995406 | 0,380709 |
| 24 | 0,979824 | 0,979173 | 0,979297 | 0,998727 | 0,782206 |
| 25 | 0,971687 | 0,970399 | 0,970647 | 0,997497 | 0,321234 |
| 26 | 0,971444 | 0,969962 | 0,970315 | 0,996643 | 0,795656 |
| 27 | 0,975859 | 0,974521 | 0,974928 | 0,997411 | 0,452565 |
| 28 | 0,981614 | 0,980937 | 0,981114 | 0,998659 | 0,808544 |
| 29 | 0,980254 | 0,979525 | 0,9797 | 0,998466 | 0,866563 |
| 30 | 0,993623 | 0,993531 | 0,993557 | 0,999809 | 0,885271 |
| 31 | 0,988875 | 0,988621 | 0,988688 | 0,999508 | 0,774954 |
| 32 | 0,978708 | 0,977811 | 0,978044 | 0,998225 | 0,768516 |
| 33 | 0,988475 | 0,988253 | 0,988298 | 0,999606 | 0,80198 |
| 34 | 0,9119 | 0,899894 | 0,902078 | 0,990501 | 0,443869 |
| 35 | 0,968433 | 0,966659 | 0,967061 | 0,997183 | 0,544143 |
| 36 | 0,965909 | 0,963861 | 0,964326 | 0,995587 | 0,585055 |
| 37 | 0,956718 | 0,952804 | 0,953927 | 0,995149 | 0,208567 |
| 38 | 0,930667 | 0,923562 | 0,924698 | 0,992136 | 0,526545 |
| 39 | 0,918319 | 0,907991 | 0,909874 | 0,975119 | -0,20568 |
| 40 | 0,986599 | 0,986247 | 0,986337 | 0,999299 | 0,49704 |
| 41 | 0,981574 | 0,981 | 0,981119 | 0,999132 | 0,909432 |
| 42 | 0,990047 | 0,989807 | 0,98988 | 0,999532 | 0,868577 |
| 43 | 0,970278 | 0,969001 | 0,969197 | 0,997955 | 0,284101 |
| 44 | 0,968469 | 0,96648 | 0,967018 | 0,996565 | 0,157077 |
| 45 | 0,989143 | 0,988875 | 0,988953 | 0,999516 | 0,718266 |
| 46 | 0,97223 | 0,970711 | 0,971111 | 0,997194 | 0,774877 |
| 47 | 0,987921 | 0,987704 | 0,98774 | 0,999579 | 0,701047 |
| 48 | 0,977897 | 0,97708 | 0,977249 | 0,998835 | 0,073354 |
| 49 | 0,983602 | 0,982987 | 0,983169 | 0,998827 | 0,464831 |
| 50 | 0,984158 | 0,983725 | 0,983819 | 0,999223 | 0,839512 |

1. Jedinica u kojoj prikazujemo vrednosti pulsa je broj otkucaja u minuti, odnosno za učestanost disanja to je broj udisaja u minuti. Skraćenica korišćena za ove jedinice je bpm, skraćeno od engl. *beats/breaths per minute*. [↑](#footnote-ref-1)