

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SEMINAR

# **Detekcija Parkinsonove bolesti strojnim učenjem**

*Barbara Košćević*

Voditelj: *prof. dr. sc. Mislav Grgić*

Zagreb, svibanj 2022.

# SADRŽAJ

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Što je Parkinsonova bolest?</b>	<b>2</b>
<b>3. Metode strojnog učenja za detekciju Parkinsonove bolesti</b>	<b>4</b>
<b>4. Detekcija Parkinsonove bolesti pomoću slika crteža spirala i valova</b>	<b>7</b>
4.1. Korišteni skup podataka . . . . .	7
4.2. Obrada podataka . . . . .	8
4.3. Arhitektura modela . . . . .	9
<b>5. Rezultati provedene detekcije</b>	<b>11</b>
5.1. Rezultati detekcije iz slika crteža spirala . . . . .	11
5.2. Rezultati detekcije iz slika crteža valova . . . . .	14
<b>6. Zaključak</b>	<b>16</b>
<b>7. Literatura</b>	<b>17</b>
<b>8. Sažetak</b>	<b>18</b>

# 1. Uvod

Parkinsonova bolest je poremećaj živčanog sustava koji nastaje kao posljedica gubitka moždanih stanica u različitim dijelovima mozga. Glavni simptomi Parkinsonove bolesti su motorički, odnosno poremećaji izvođenja normalnih kretnji. Može se uočiti tremor u mirovanju, nekontrolirani pokreti ekstremiteta uglavnom u mirovanju uz prestanak tijekom izvođenja neke radnje, usporenost kretanje i gubitak spontanih i voljnih pokreta. U radu ćemo ukratko objasniti nastanak bolesti, glavne simptome, faze razvoja bolesti te metode liječenja.

Nekolicina znanstvenih radova bavi se detekcijom Parkinsonove bolesti metodama strojnog učenja koristeći se zvučnim zapisima govora oboljelih osoba, zatim crtežima spirala, valova i raznih geometrijskih oblika. U ovome radu pokušati ćemo napraviti detekciju Parkinsonove bolesti koristeći se jednom ili više metoda strojnog učenja primijenjeno na skupu podataka koji sadrži slike crteža spirala i valova. Dati ćemo pregled do sad korištenih metoda te napraviti usporedbu s rezultatima dobivenim nakon provedbe detekcije odabranom metodom strojnog učenja.

## 2. Što je Parkinsonova bolest?

Parkinsonova bolest je progresivan poremećaj centralnog živčanog sustava. To je neurodegenerativna bolest općenito okarakterizirana drhtanjem (tremorom), usporenošću pokreta (bradikinezijom), ukočenošću te abnormalnostima držanja tijela.

Parkinsonova bolest je poremećaj živčanog sustava koji nastaje primarno kao rezultat gubitka moždanih stanica (neurona) u različitim dijelovima mozga, posebno u području mozga poznatome kao crna tvar ili substantia nigra. To područje proizvodi dopamin, kemijski prijenosnik signala u mozgu zaslužan za koordinaciju pokreta. Parkinsonova bolest je okarakterizirana jakim nedostatkom dopamina. Gubitak dopamina uzrokuje nekontrolirano izbijanje moždanih stanica zbog čega se gubi sposobnost kontrole pokreta. Smatra se da je Parkinsonova bolest rezultat međudjelovanja genetskih i okolišnih čimbenika, no nije moguće odrediti specifičan uzrok nastanka pojedinačnog slučaja Parkinsonove bolesti. Najveći zasebni rizični čimbenik za Parkinsonovu bolest je uznapredovala životna dob. Ozljede glave i izloženost pesticidima povezane su s povećanim rizikom, dok su pušenje i konzumacija kave povezani sa smanjenim rizikom od nastanka Parkinsonove bolesti [2].

Glavni simptomi u Parkinsonovoj bolesti su motorički. Može se uočiti tremor u mirovanju, usporenost kretanja i gubitak spontanosti i voljnih pokreta. U sklopu toga kod oboljelog se može uočiti smanjena ekspresija lica, usporen, monoton govor, usporen hod sitnim koracima uz oskudne kretnje rukama. Kod Parkinsonove bolesti može se javiti i poteškoće održavanja ravnoteže, smetnje koordinacije i ukočenost ekstremiteta tijela. Pored motoričkih i fizički vidljivih simptoma mogu se javiti i "ne-motorički simptomi" odnosno simptomi kako što su poremećaj raspoloženja (tjeskoba i depresija), poremećaji spavanja (nesanica, pospanost, poremećaj ponašanja tijekom spavanja, nemir u nogama), gubitak osjeta njuha [2]. Ova bolest je vrlo progresivna i prema [1] razvija se u pet različitih faza:

- **Prva faza:** osoba ima blage simptome koji općenito ne ometaju svakodnevne aktivnosti uključujući tremor i drugi problemi kretanja javljaju se samo na jednoj strani tijela. Javljaju se promjene u držanju, hodu i izrazima lica.

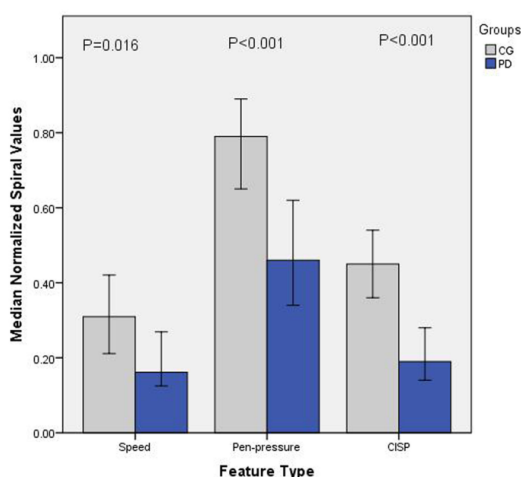
- **Druga faza:** simptomi se počinju pogoršavati. Tremor, ukočenost i drugi simptomi kretanja utječu na obje strane tijela te se javljaju problemi s hodanjem i loše držanje i svakodnevni život osobe postaje otežan.
- **Treća faza:** gubitak ravnoteže i pokreti s padovima postaju učestali i česti. Osoba je još uvijek sposobna samostalno živjeti, ali sa znatnim smetnjama u obavljanju jednostavnih radnji.
- **Četvrta faza:** simptomi postaju ozbiljni i sputavajući. Osoba ne može živjeti sama i potrebna joj je pomoć za obavljanje svakodnevnih aktivnosti.
- **Peta faza:** ukočenost nogu onemogućuje hodaње ili stajanje. Osoba je najvjerojatnije vezana za invalidska kolica i potrebna joj je svakodnevna pomoć. Osoba može doživjeti halucinacije i deluzije.

Ne postoji standardni tretman za liječenje Parkinsonove bolesti. Liječenje svake osobe s Parkinsonovom bolešću temelji se na njezinim simptomima i ono uključuje lijekove i kiruršku terapiju. Ostali tretmani uključuju promjene načina života, poput više odmora i vježbanja. Dostupni su mnogi lijekovi za liječenje simptoma Parkinsonove bolesti, ali još nijedan koji bi poništio učinke bolesti. Uobičajeno je da osobe s ovom bolešću uzimaju razne lijekove kako bi samo kontrolirali simptome. [1]

Procjenjuje se da Parkinsonova bolest pogađa oko 1,5% ljudi u dobi od 60 godina, a 3% u dobi od 80 i više godina. Zahvaća i mlađu dobnu skupinu, čak 10% slučajeva nastaje u dobi mlađoj od 50 godina. Godišnja vjerojatnost pojavljivanja Parkinsonove bolesti jest od 5 do 35 na 100000 pojedinaca, a globalni udio oboljelih iznosi 0,3% i raste s dobi. Muškarci imaju 1.5 puta viši rizik od obolijevanja nego žene. Prosječna je dob pojavljivanja Parkinsonove bolesti između 58 i 60 godina. Procjenjuje se da u svijetu ima od 7 do 10 milijuna oboljelih [5].

### 3. Metode strojnog učenja za detekciju Parkinsonove bolesti

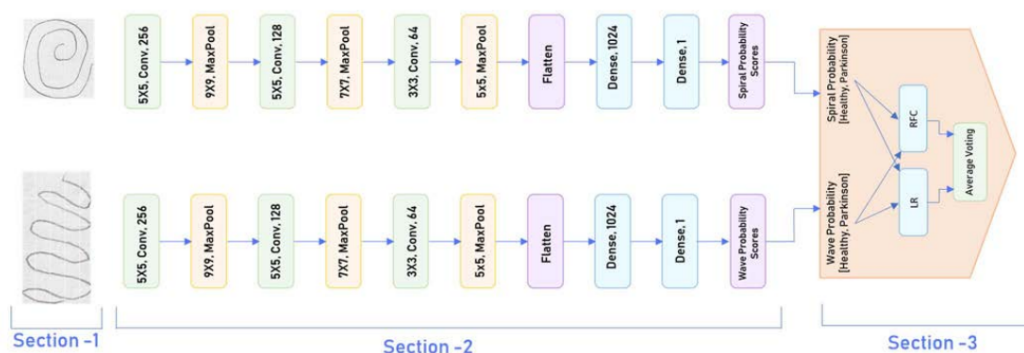
Povezanost pojave teškoća pri pisanju i crtanju rukom s Parkinsonovom bolešću javlja se u ranim fazama ove bolesti. Razvojem tehnike i uređaja koji omogućuju snimanje načina crtanja i pisanja, pojavio se potencijal za detekciju ove bolesti bez potrebe za stručnjacima koji bi interpretirali crteže mogućih bolesnika. U radu [7] autori koriste dva kriterija kao što su brzina i pritisak olovke tijekom crtanja skica spirale od strane zdravih subjekata i subjekata u različitim fazama Parkinsonove bolesti. Razvili su vlastiti software koji automatski bilježi pritisak i položaj olovke olovkom i mjeri prosječnu brzinu, pritisak olovke i indeks brzine i pritiska olovke pri skiciranju (engl. *Composite Index of Speed and Pen-pressure (CISP)*). Izvukli su značajke iz skica i predložili metodu koja može dati faktor korelacije između značajki i razine ove bolesti. Ova studija je pokazala da brzina, pritisak olovke i indeks brzine i pritiska olovke pri skiciranju spirale negativno koreliraju s ozbiljnošću bolesti. Što su ove tri značajke slabije istaknute kod subjekata to je razina bolesti ozbiljnija.



**Slika 3.1:** Grafički prikaz normaliziranih vrijednosti brzine, pritiska olovke i CISP-a za crteže osoba oboljelih od Parkinsonove bolesti (PD) i kontrolne grupe (CG) - zdrave osobe [7]

Kotsavasiloglou et al. su predstavili istraživanje na temelju putanje vrha olovke pri crtanju jednostavne horizontalne linije zdravih osoba i osoba oboljelih od Parkinsonove bolesti. Izdvojili su značajke iz tih jednostavnih crteža i koristeći razne algoritme strojnog učenja trenirali model za razlikovanje oboljelih i zdravih subjekata. Koristili su različite klasifikatore za treniranje kao što su Naivan Bayesov klasifikator, Ada-Boost, logističku regresiju, J48, stroj potpornih vektora i Random Forest klasifikator. Također, koristili su različite metrike poput točnosti modela, AUC (engl. *Area under the curve*), matricu konfuzije. Svojim modelom postigli su točnost od 91% [4].

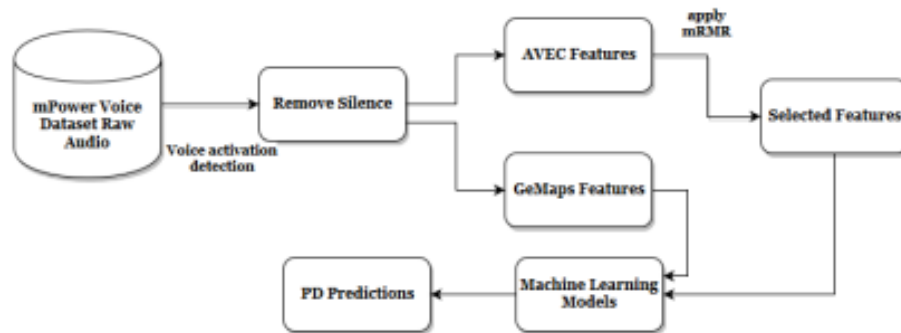
U radu [3] autori rade model koristeći dvije konvolucijske mreže, jednu za detekciju bolesti iz crteža spirala i drugu iz crteža valova te kombinirajući izlaze iz oba donose odluku o klasifikaciji primjera. Pri tome se koriste s dva različita algoritma, logističkom regresijom i Random Forest klasifikatorom. Oba klasifikatora na temelju predikcija dobivenih iz neuronskih mreža, daju predikciju. Na kraju se uzimaju predikcije oba klasifikatora i na temelju prosječnog glasovanja dobiva se konačni rezultat. Ovaj model radi s točnošću od 93.3%.



**Slika 3.2:** Model korišten u radu [3]

Biomarkeri dobiveni iz ljudskog glasa mogu dati uvid u neurološke poremećaje, kao što je Parkinsonova bolest. Zbog smanjenja kontrole motorike, glas se može koristiti kao sredstvo za detekciju i dijagnosticiranje ove bolesti. Uz napredak u tehnologiji i rasprostranjenost uređaja za prikupljanje zvuka u svakodnevnom životu, pouzdani modeli koji mogu prevesti ove audio podatke u dijagnostički alat za zdravstvene djelatnike bi potencijalno mogli dati jeftinije i točnije dijagnoze. Autori rada [6] potvrđuju ovaj koncept koristeći skup podataka koji sadrži zvučne zapise glasa osoba s Parkinsonovom bolešću i zdravih osoba. Koriste se dubokom neuronskom mrežom za određivanje pojedinaca s bolešću. Podatci su prethodno obrađeni tako da su uklonjeni pozadinski šumovi, kako bi se dobio čisti zapis glasa te je provedeno izdvajanje značajki. Kori-

šteni su razni klasifikacijski algoritmi za postizanje točnosti od najviše 85%.



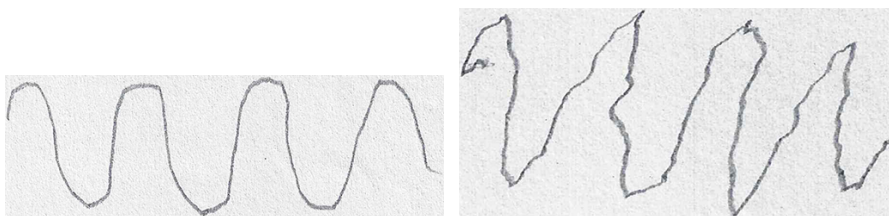
**Slika 3.3:** Model za detekciju Parkinsonove bolesti iz zvučnih zapisa glasa [6]



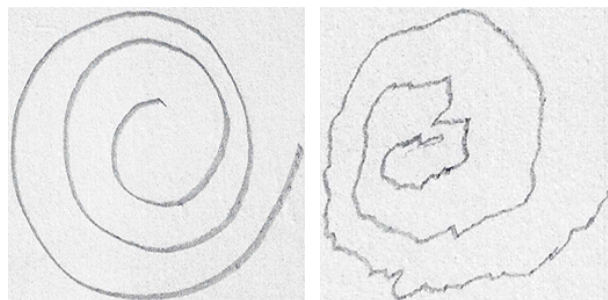
## 4. Detekcija Parkinsonove bolesti pomoću slika crteža spirala i valova

### 4.1. Korišteni skup podataka

Pri provedbi detekcije korišten je skup podataka kojeg čine crteži spirala i valova. Skup podataka preuzet je s Kaggle repozitorija objavljenog od strane [7]. U prikupljanju podataka sudjelovalo je 55 subjekata, od toga 28 iz kontrolne grupe koju čine zdrave osobe i 27 subjekata s dijagnosticiranom Parkinsonovom bolešću. Skup podataka sadrži ukupno 204 slike, 144 slike u skupu za treniranje i 60 slika u skupu za testiranje. Skup podataka podijeljen je tako da 102 slike čine crteži spirala, a druge 102 slike čine crteži valova. U oba skupa nalazi se 72 slike za treniranje i 30 slika za testiranje. Skup crteža spirala i skup crteža valova za učenje podijeljeni su tako da 36 slika sadrže crteže spirale, odnosno valova, osoba oboljelih od Parkinsonove bolesti, dok ostalih 36 slika sadrže crtež spirale, odnosno valova, osoba koje nemaju to oboljenje. Na isti način je podijeljen i skup za testiranje. Skup za testiranje sadrži 30 slika crteža spirala, odnosno valova, od čega 15 slika čini crtež zdrave osobe, a ostalih 15 crtež osobe oboljele od Parkinsonove bolesti. Na slikama Slika 4.2 i Slika 4.3 nalaze se primjeri slika iz opisanog skupa podataka.



**Slika 4.1:** Primjeri crteža valova zdrave osobe (lijevo) i osobe s Parkinsonovom bolešću (desno)



**Slika 4.2:** Primjeri crteža spirale zdrave osobe (lijevo) i osobe s Parkinsonovom bolešću (desno)

## 4.2. Obrada podataka

Najveći problem pri treniranju modela za detekciju Parkinsonove bolesti jest činjenica da je raspoloživi skup podataka jako malen. Za rješavanje ovoga problema provedena je augmentacija podataka (*engl. Data Augmentation*). Augmentacija slike je proces u kojem se raspoloživi skup podataka proširi primjenjivanjem različitih transformacija nad slikama. U tablicama Tablica 4.1 i Tablica 4.2 prikazane su vrijednosti parametara transformacija pri augmentaciji slika.

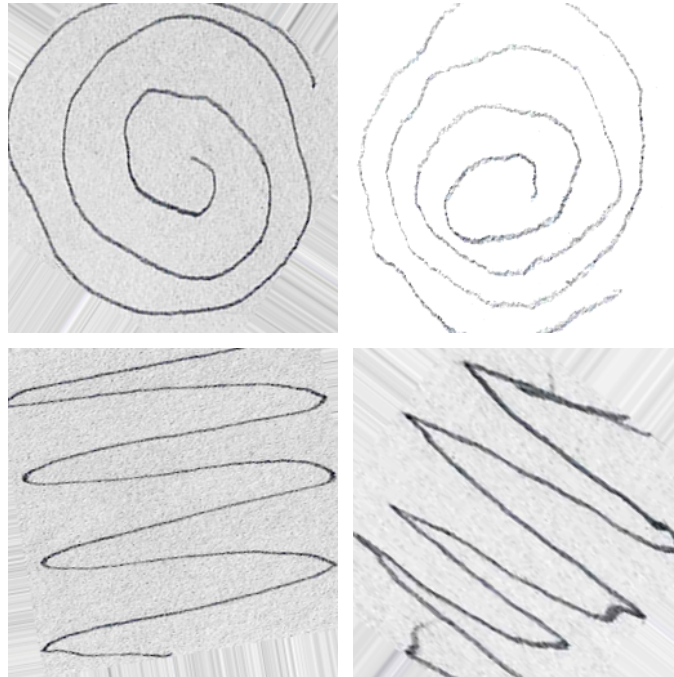
Parametri augmentacije	Vrijednosti
Rotation range	360
Width shift range	0.1
Height shift range	0.1
Brightness range	(0.5, 1.5)
Horizontal flip	True
Vertical flip	True

**Tablica 4.1:** Parametri augmentacije za crteže spirala

Parametri augmentacije	Vrijednosti
Rotation range	90
Width shift range	0.1
Height shift range	0.1
Brightness range	(0.5, 1.5)
Horizontal flip	True
Vertical flip	True

**Tablica 4.2:** Parametri augmentacije za crteže valova

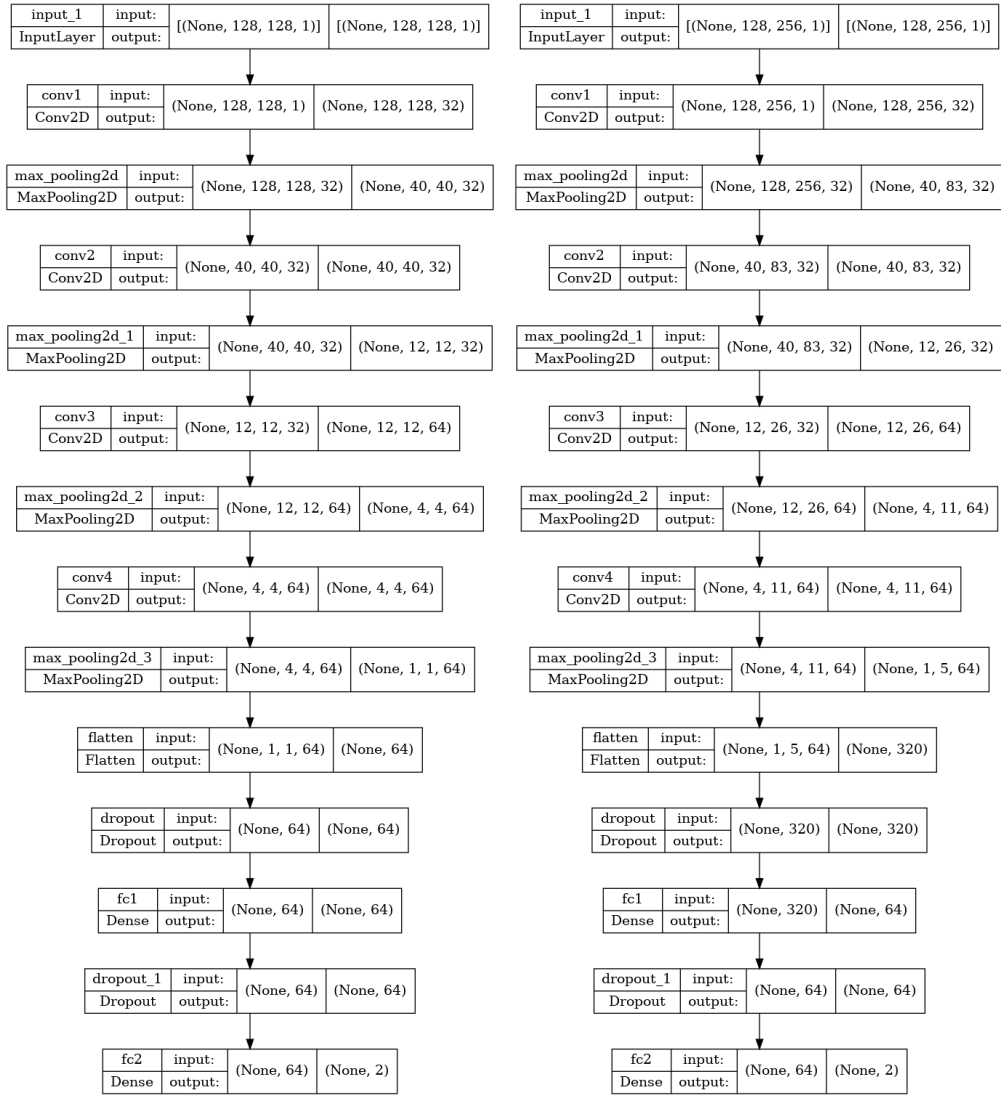
Augmentacija je provedena nad skupom za treniranje i dobiven je prošireni skup koji sadrži 7306 slika crteža spirala i 7300 slika crteža valova.



**Slika 4.3:** Primjeri slika dobivenih augmentacijom

### 4.3. Arhitektura modela

Za detekciju Parkinsonove bolesti iz crteža spirala i valova korištena je ista konvolucijska neuronska mreža za oba tipa crteža. Model ima četiri bloka s jednim konvolucijskim slojem s jezgrama dimenzija  $3 \times 3$  nakon kojeg slijedi sloj sažimanja s različitim dimenzijama jezgri ( $9 \times 9$  do  $3 \times 3$ ). Slijedi blok s dva potpuno povezana sloja s gašenjem polovine neurona u svakom sloju. U svakom sloju korištena je zglobnica (ReLU) kao aktivacijska funkcija. S obzirom na različite dimenzije ulaznih slika broj parametar za treniranje modela za detekciju spirala je 69282, a modela za detekciju valova je 85666. Treniranje modela provedeno je kroz 150 epoha sa stopom učenja u iznosu od 0.0001. Pri optimizaciji je korišten Adam optimizator. Gubitak je izračunat korištenjem binarne unakrsne entropije.



Slika 4.4: Arhitekture modela za detekciju spirale(lijevo) i valova(desno)

## 5. Rezultati provedene detekcije

Rezultati detekcije Parkinsonove bolesti provedene na raspoloživom skupu podataka su zadovoljavajući s obzirom na malu količinu podataka koji skup sadrži. U potpoglavljima 4.1.1. i 4.1.2. iz prethodnog poglavlja objašnjeni su skupovi podataka i arhitektura modela korištenih za detekciju Parkinsonove bolesti iz crteža. U ovome dijelu posebno će biti obrađeni rezultati dobiveni pri klasifikaciji slika crteža spirala i klasifikaciji slika crteža valova uz dodatna objašnjenja podjele skupova podataka.

### 5.1. Rezultati detekcije iz slika crteža spirala

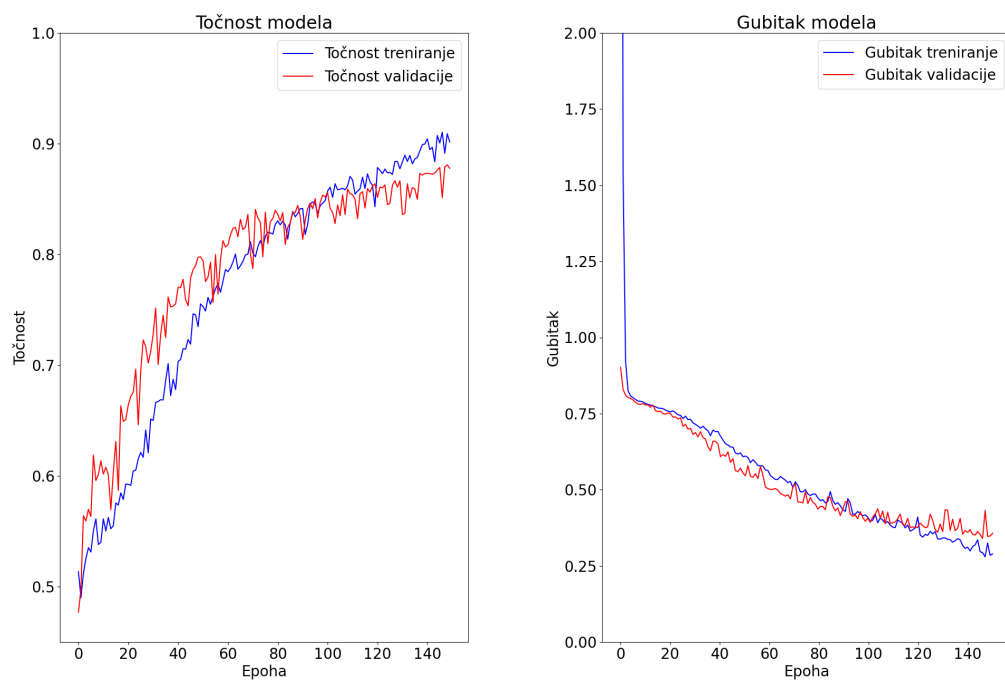
Augmentacijom slika s crtežima spirala dobiven je skup od 7306 slika koji je podijeljen u omjeru 60:40 na skup za treniranje i skup za validaciju.

Na skupu za treniranje model za detekciju Parkinsonove bolesti iz crteža spirala dosegnu je visokih 91% točnosti dok je na skupu za validaciju ta vrijednost nešto niža i iznosi 88%. Grafovi točnosti i gubitka modela pri treniranju i validaciji prikazani su na slici Slika 5.1.

Model je testiran na svega 30 slika koje se nalaze u skupu za testiranje. U tablici Tablica 5.1 prikazani rezultati računanja točnosti modela na čitavim skupom za testiranje i preciznost, odziv i F1-mjera izračunate posebno na slikama crteža zdravih i posebno na slikama crteža osoba oboljelih od Parkinsonove bolesti.

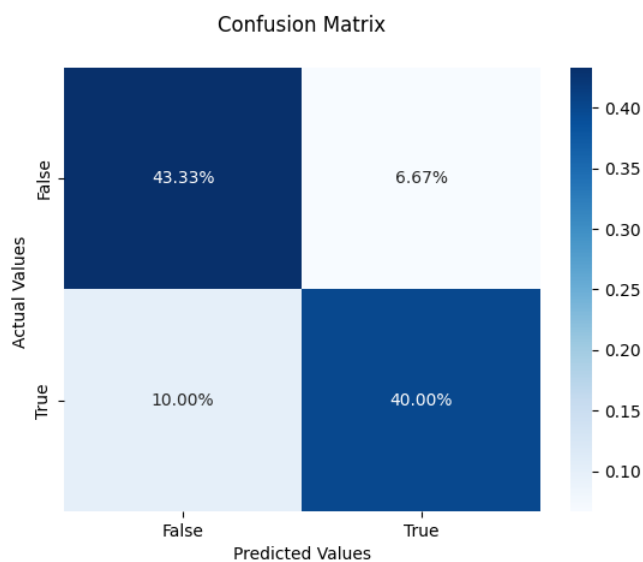
Crtež	Preciznost	Odziv	F1-mjera	Broj slika
Zdrava osoba	0.81	0.87	0.84	15
Bolesna osoba	0.86	0.80	0.83	15
Točnost			0.83	30

**Tablica 5.1:** Rezultati testiranja modela na slikama crteža spirala



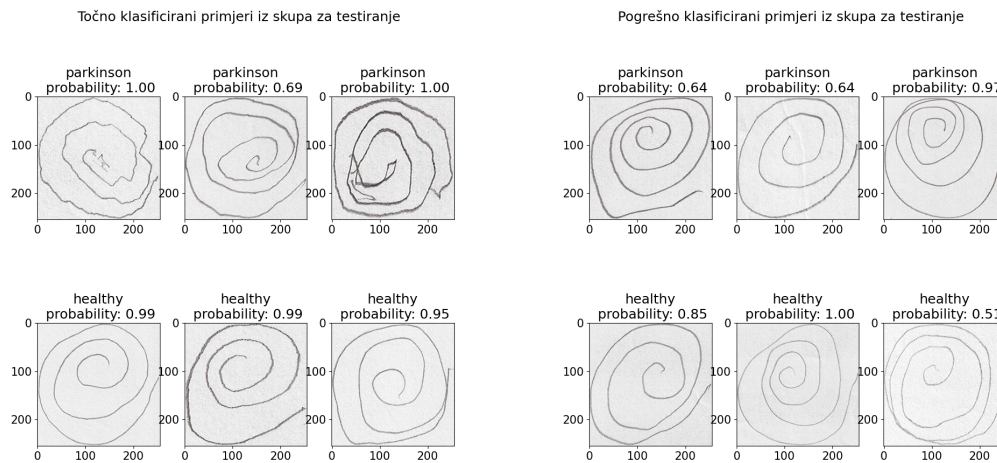
**Slika 5.1:** Točnost (lijevo) i gubitak (desno) modela za detekciju bolesti iz slika crteža spirala

Na slici Slika 5.2 prikazana je konfuzijska matrica modela za klasifikaciju slika crteža spirala.



**Slika 5.2:** Konfuzijska matrica

Na slici Slika 5.3 prikazani su primjeri točno i pogrešno klasificiranih slika crteža spirala pri testiranju modela.



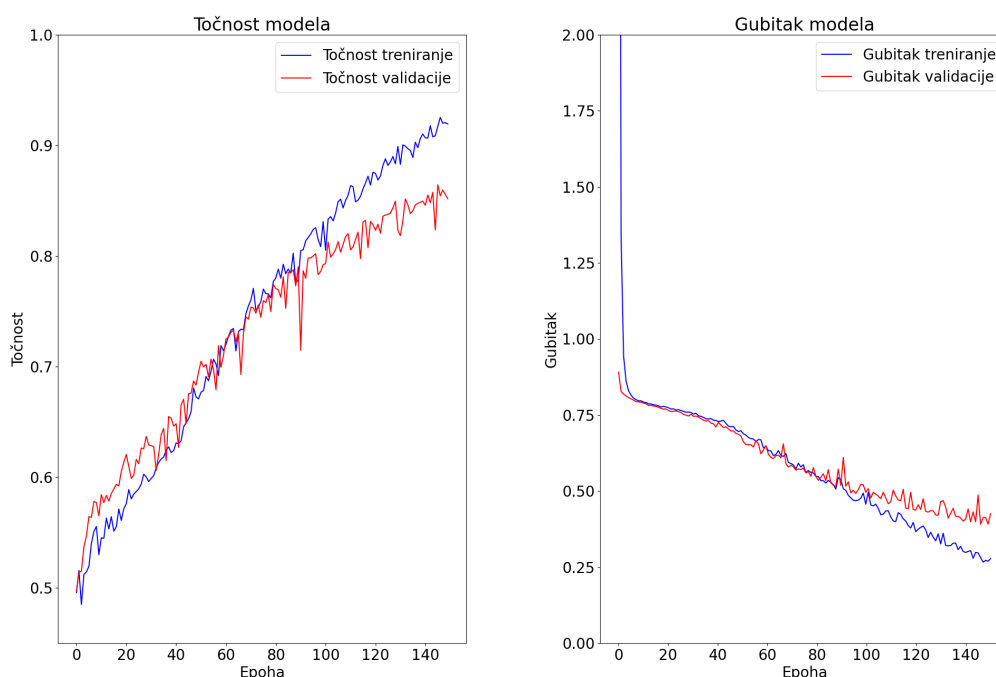
**Slika 5.3:** Primjeri točno klasificiranih slike (lijevo) i pogrešno klasificiranih slika (desno)

Proučavajući slike u skupu podataka gotov je nemoguće za neke primjere sa sigurnošću reći radi li se o crtežu osobe s razvijenom bolešću ili ne. Isto je vidljivo na primjeru pogrešno klasificiranih slika gdje se vidi da je za, na primjer prvu sliku klasificiranu kao crtež zdrave osobe, gotovo nemoguće reći da postoji razlika s točno klasificiranim slikama crteža zdravi osoba.

## 5.2. Rezultati detekcije iz slika crteža valova

Augmentacijom slika s crtežima valova dobiven je skup od 7300 slika koji je podijeljen u omjeru 60:40 na skup za treniranje i skup za validaciju.

Na skupu za treniranje model za detekciju Parkinsonove bolesti iz crteža valova dosegnu je 93% točnosti dok je na skupu za validaciju dosegnu točnost od 86%. Grafovi točnosti i gubitka modela pri treniranju i validaciji prikazani su na slici Slika 5.4.



**Slika 5.4:** Točnost (lijevo) i gubitak (desno) modela za detekciju bolesti iz slika crteža valova

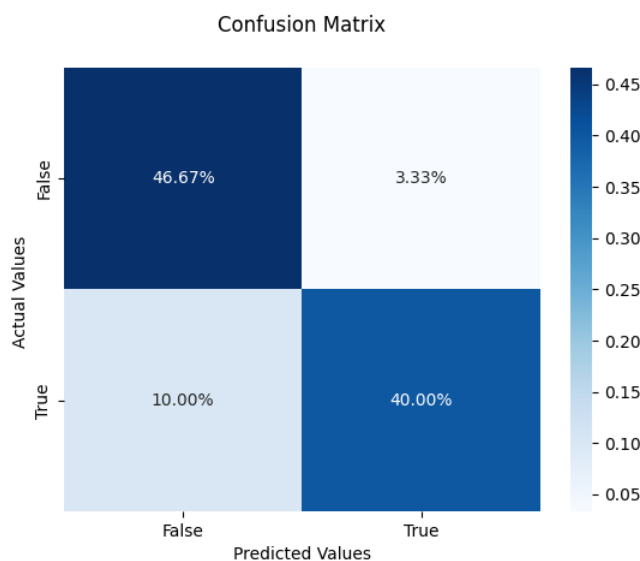
Model je testiran na svega 30 slika koje se nalaze u skupu za testiranje. U tablici Tablica 5.2 prikazani rezultati računanja točnosti modela na čitavim skupom za testiranje i preciznost, odziv i F1-mjera izračunate posebno na slikama crteža zdravih i posebno na slikama crteža osoba oboljelih od Parkinsonove bolesti.

Crtež	Preciznost	Odziv	F1-mjera	Broj slika
Zdrava osoba	0.82	0.93	0.87	15
Bolesna osoba	0.92	0.80	0.86	15
Točnost			0.87	30

**Tablica 5.2:** Rezultati testiranja modela na slikama crteža valova

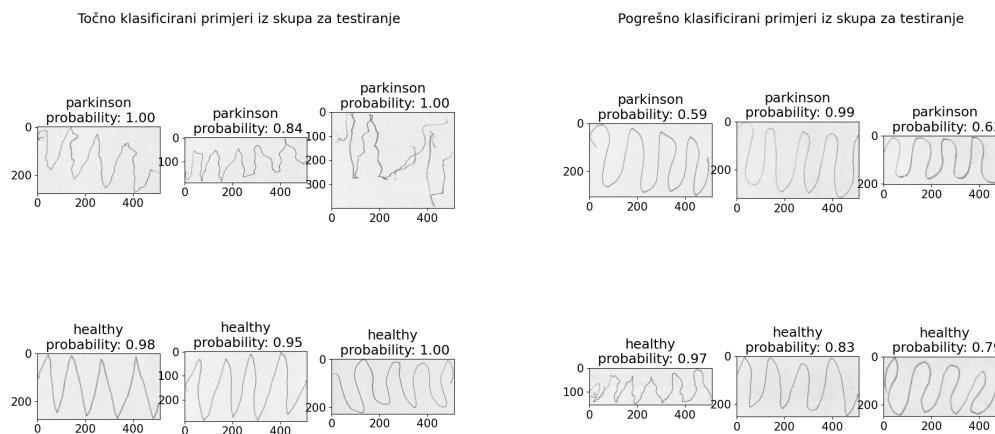


Na slici Slika 5.5 prikazana je konfuzijska matrica modela za klasifikaciju slika crteža valova.



**Slika 5.5:** Konfuzijska matrica

Na slici Slika 5.6 prikazani su primjeri točno i pogrešno klasificiranih slika crteža valova pri testiranju modela.



**Slika 5.6:** Primjeri točno klasificiranih slike (lijevo) i pogrešno klasificiranih slika (desno)

Zaključak donesen za primjere točno i pogrešno klasificiranih slika crteža spirala može se primijeniti i na primjere točno i pogrešno klasificiranih slika valova. Odnosno za neke primjere je gotovo nemoguće reći da postoji razlika između točno i pogrešno klasificiranih slika crteža valova zdravih i bolesnih osoba.

## 6. Zaključak

Parkinsonova bolest je neurodegenerativna bolest okarakterizirana gubitkom motoričkih sposobnosti. Jedan od testova koji stručnjaci provode pri ispitivanju postojanja bolesti kod osoba jest test crtanjem spirala i valova. Provedenim istraživanjem postojećih radova te izradom modela koji vrši detekciju bolesti pomoću slika crteža spirala i valova pokazano je da je moguće strojnim učenjem provesti ovaj jednostavan test.

Rezultati provedene detekcije pokazuju da je detekcija bolesti klasifikacijom slika crteža spirala i valova zdravih osoba i osoba oboljelih od Parkinsonove bolesti moguća korištenjem jednostavnih modela neuronskih mreža te da ovaj pristup daje zadovoljavajuću razinu točnosti.

Proučavajući rezultate testiranja modela koji su izrađeni u svrhu ovog istraživanja može se zaključiti da model ispravno klasificira slike crteža i spirala za koje je ne stručnoj osobi teško zaključiti radi li se u crtežima zdrave ili bolesne osobe.

Ovim radom je pokazano da postoji potencijal za razvoj softvera za detekciju Parkinsonove bolesti iz crteža spirala i valova koji bi bio lako dostupan svima. Također postoji prostor za razvoj još boljih i točnijih modela i algoritama koji bi služiti za detekciju ove bolesti. Visoki udio točnosti modela potreban je za davanje točnih rezultata detekcije što je nužno kod dijagnosticiranja kako ove tako i svih drugih bolesti.

## 7. Literatura

- [1] Stages of parkinson's. URL <https://www.parkinson.org/Understanding-Parkinsons/What-is-Parkinsons/Stages-of-Parkinsons>.
- [2] P. Bago Rožanković. Sve što trebate znati o parkinsonovoj bolesti. URL <https://www.svkatarina.hr/blog/sve-sto-trebate-znati-o-parkinsonovoj-bolesti/25>.
- [3] S. Chakraborty, S. Aich, Jong-Seong-Sim, E. Han, J. Park, i Hee-Cheol Kim. Parkinson's disease detection from spiral and wave drawings using convolutional neural networks: A multistage classifier approach. stranice 298–303, 2020. doi: 10.23919/ICACT48636.2020.9061497.
- [4] C. Kotsavasiloglou, N. Kostikis, D. Hristu-Varsakelis, i M. Arnaoutoglou. Machine learning-based classification of simple drawing movements in parkinson's disease. *Biomedical Signal Processing and Control*, 31:174–180, 2017. ISSN 1746-8094. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2016.08.003>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809416300982>.
- [5] V. Vuletić. Parkinsonova bolest - nove spoznaje. *Medicus*, 28(1):27–32, 2019.
- [6] Timothy J. Wroge, Yasin Özkanca, Cenk Demiroglu, Dong Si, David C. Atkins, i Reza Hosseini Ghomi. Parkinson's disease diagnosis using machine learning and voice. stranice 1–7, 2018. doi: 10.1109/SPMB.2018.8615607.
- [7] P. Zham, D. K. Kumar, P. Dabnichki, S. Poosapadi Arjunan, i S. Raghav. Distinguishing different stages of parkinson's disease using composite index of speed and pen-pressure of sketching a spiral. *Frontiers in Neurology*, 8, 2017. ISSN 1664-2295. doi: 10.3389/fneur.2017.00435. URL <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fneur.2017.00435>.

## 8. Sažetak

Parkinsonova bolest je poremećaj živčanog sustava koji nastaje kao posljedica gubitka moždanih stanica u različitim dijelovima mozga. Glavni simptomi Parkinsonove bolesti su motorički, odnosno poremećaji izvođenja normalnih kretnji. U radu je ukratko objašnjeno kako i zašto nastaje bolest, koji su glavni simptomi, faze razvoja te načini liječenja bolesti.

Dan je pregled nekoliko znanstvenih radova koji se bave detekcijom Parkinsonove bolesti metodama strojnog učenja. U radovima se koriste zvučnim zapisima govora oboljelih osoba, zatim crtežima spirala, valova i raznih geometrijskih oblika i slično. Za potrebe samostalne provedbe detekcije Parkinsonove bolesti iz slika crteža i spirala razvijen je model neuronske mreže koji klasificira slike u crteže zdravih osoba i osoba s Parkinsonovom bolešću. Model ima točnost od 91% na skupu slika crteža spirala i 93% na skupu slika crteža valova.