

Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta Crne Gore

Predmet: Izvještaj komisije o pregledu i ocjeni master rada Andrijane Blečić

Vijeće Prirodno-matematičkog fakulteta na sjednici održanoj 08. 11. 2024. godine, donijelo je Odluku o imenovanju komisije za ocjenu master rada "Primjena metoda objašnjive vještačke inteligencije u procesu kliničkog odlučivanja u kardiologiji", kandidatkinje Andrijane Blečić, u sastavu:

Prof. dr Savo Tomović, redovni profesor PMF – mentor;

Doc. dr Igor Jovančević, docent PMF – član;

Prof. dr Miroslav Bojović, redovni profesor ETF u Beogradu – član.

Kandidatkinja Andrijana Blečić je dana 29. 11. 2024. godine predala rukopis master rada na uvid javnosti i ocjenu. Nakon uvida u podneseni materijal, a u vezi sa članom 22 Pravila studiranja na master studijama, podnosimo sljedeći

IZVJEŠTAJ

Master rad pod nazivom "Primjena metoda objašnjive vještačke inteligencije u procesu kliničkog odlučivanja u kardiologiji", kandidatkinje Andrijane Blečić je iz oblasti računarskih nauka, a uže oblasti rada su vještačka inteligencija i objašnjivost vještačke inteligencije. Rad je napisan na 97 strana kucanog teksta. Sastoji se iz osam glava, zaključka i literature sa 36 bibliografskih jedinica. Svaka glava je podijeljena na više poglavlja u kojima se obrađuje jedna logička cjelina.

Prva glava je uvodnog karaktera. U ovoj glavi opisan je domen problema: komplikacije i smrtni ishod prouzrokovani kardiovaskularnim oboljenjima. Pored toga navedene su metode dubokog učenja i objašnjive vještačke inteligencije koji se koriste u radu. Navedeno je da se u radu rješava problem klasifikacije elektrokardiografskih signala.

U drugoj glavi naveden je detaljan uvod u terminologiju i mehanizme koji se standardno susreću u radu sa EKG signalima. Ovdje su objašnjeni pojmovi koji su usko vezani za medicinski domen problema, neophodni za dalje razumijevanje obrade elektrokardiografskih signala.

U trećoj glavi izloženi su skupovi i baze podataka koji su korišćeni kao glavni izvor medicinskih podataka. Podaci predstavljaju ključni dio metoda mašinskog učenja, pa je pravilan izbor podataka krucijalan za uspješnost implementacije ovih metoda. U radu su korišćeni elektrokardiogram signali, kao i propratni metapodaci o pacijentima. Autori baza podataka osigurali

su da su svi podaci prikupljeni i obrađeni u skladu sa HIPAA standardima (Health Insurance Portability and Accountability Act), čime je zagarantovana privatnost i sigurnost pacijenata.

Četvrta glava odnosi se na analizu i preprocesiranje podataka. Nakon detaljne analize podataka, navedene su tehnike preprocesiranja koje se standardno koriste u obradi fizioloških signala. Da bi se obezbijedila maksimalna tačnost prilikom klasifikacije EKG signala, neophodno je primijeniti tehnike filtriranja radi uklanjanja šuma i smetnji prisutnih u sirovim ulaznim podacima. Za ove potrebe, između ostalog, korišćen je i Butterworth bandpass filter, koji je dizajniran tako da propušta frekvencije unutar definisanog opsega, dok potiskuje frekvencije van tog opsega.

Peta glava se odnosi na primjenu klasičnih metoda mašinskog učenja za klasifikaciju EKG signala. Navedene su teorijske osnove mašinskog učenja kao i algoritama koji su korišćeni u radu. Klasifikatori koji su implementirani i opisani u ovoj glavi obuhvataju: algoritam slučajnih šuma (Random Forest Classifier), logističku regresiju (Logistic Regression) i XGBoost (Extreme Gradient Boosting).

U šestoj glavi obrađuju se algoritmi dubokog učenja. Pored teorijskih osnova ovih algoritama navedena je i arhitektura modela dubokog učenja, koja je korišćena za rješavanje problema klasifikacije EKG signala. U pitanju je višeslojni model konvolucione neuronske mreže od 5 ponovljenih blokova konvolucije, u kombinaciji sa aktivacionom funkcijom (LeakyReLU), normalizacijom i pooling tehnikom. Nakon ponovljenih konvolucionih blokova primjenjuje se dropout tehnika regularizacije, praćena sa potpuno povezanim slojem. Ova arhitektura nastala je kao rezultat istraživanja, primjenom kombinacije najuspješnijih modela dubokog učenja korišćenih za klasifikaciju EKG signala. U ovom poglavlju navedene su i rekurentne (LSTM) neuronske mreže koje su implementirane kako bi se obradila i vremenska (sekvencijalna) komponenta EKG signala.

Sedma glava sadrži obradu objašnjivih metoda vještačke inteligencije. U ovoj glavi navedene su dvije osnovne metode objašnjivosti algoritama dubokog učenja: LIME (Local interpretable model-agnostic explanation) i Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) koja se koristi za vizualizaciju.

U osmoj glavi analiziraju se rezultati implementacije navedenih algoritama i metoda.

Izloženi algoritmi su detaljno analizirani u pogledu njihove tačnosti. Navedeno je kako se određuje tačnost u slučaju nebalansiranih skupova podataka. Jezik implementacije je Python.

Upotreba algoritama za rješavanje problema iz raznih domena ljudske djelatnosti predstavlja glavni motivator njihove izgradnje i implementacije. Računarske nauke imaju široku primjenu u različitim oblastima, uključujući medicinu, inženjering, obrazovanje, finansije i mnoge druge, omogućujući optimizaciju procesa, automatizaciju zadataka i podršku u procesu donošenja odluka. Napredak i razvoj vještačke inteligencije dodatno doprinose automatizaciji i unapređenju procesa u medicinskoj praksi. Uz pomoć vještačke inteligencije moguće je analizirati velike količine medicinskih podataka, postavljati preciznije dijagnoze, predviđati ishode liječenja i pružati personalizovane terapijske preporuke. Osnovni cilj istraživanja bio je kreiranje modela koji može pružiti pravovremene i precizne dijagnoze, predikcije i prognoze kardiovaskularnih bolesti, uz zadržavanje visoke interpretabilnosti i povjerenja pacijenata i ljekara.

Postavljeni ciljevi master rada su: 1) istraživanje teorijskih osnova algoritama mašinskog učenja, 2) upoređivanje performansi klasičnih algoritama mašinskog učenja sa algoritmima dubokog učenja, 3) istraživanje metoda objašnjivosti vještačke inteligencije 4) implementacija algoritama u

programskom jeziku Python s ciljem stvaranja praktičnih alata koji omogućavaju njihovu primjenu u kliničkom odlučivanju u kardiologiji.

Kako bi se ostvarili postavljeni ciljevi i dali odgovori na istraživačka pitanja korišćene su različite metode. Osnovna metoda prati standardne korake implementacije modela mašinskog učenja: prikupljanje i analiza podataka, obrada i preprocesiranje podataka, implementacija odgovarajućeg modela mašinskog učenja, treniranje modela, testiranje i analiza rezultata. Za upoređivanje performansi implementiranih modela korišćene su metrike poput preciznosti, F1 mjere, AUC mjere (površina ispod Receiver Operating Characteristic krive). Implementirana je metoda lokalno interpretabilnih model-agnostičkih tumačenja – LIME koja se koristi za objašnjenje odluka modela vještačke inteligencije. Takođe je implementirana i Grad-CAM metoda koja pomaže vizualizaciji i razumijevanju odluka modela.

Rezultat ovog rada je i softver, razvijen u programskom jeziku Python, za implementaciju modela vještačke inteligencije. Za dalju upotrebu implementiranih modela kreirana je mobilna aplikacija u frejmvraku Flutter. Ovaj softver iskorišćen je i kreiran u sklopu projekta AIHeal, koji je nastao u saradnji Univerziteta Crne Gore i kompanije ONEAI. Na ovom projektu sarađuju stručnjaci iz oblasti medicine i računarskih nauka, s ciljem razvoja cjelokupne hardversko-softverske arhitekture za monitoring pacijenata, analizu i obradu kliničkih podataka, kao i real-time detekciju zdravstvenih promjena, što omogućava pravovremenu dijagnozu i brzo djelovanje ljekara. Projekat je prepoznat od strane naučne zajednice Crne Gore, a u dosadašnjem radu, koji traje nešto duže od godinu dana, postignuti su značajni rezultati. Osim toga, ovaj rad bi mogao pružiti smjernice za dalji razvoj i primjenu novih i poboljšanih metoda iz oblasti računarske nauke u cilju unaprijeđenja zdravstva.

ZAKLJUČAK

Nakon pregledanog master rada komisija konstatuje da rad zadovoljava sve uslove propisane Pravilima studiranja na master studijama. Kandidatkinja je pokazala da odlično poznaje naučnu problematiku, kao i da posjeduje značajan nivo istraživačkih sposobnosti. Stoga, komisija pozitivno ocjenjuje master rad pod nazivom “Primjena metoda objašnjive vještačke inteligencije u procesu kliničkog odlučivanja u kardiologiji”, kandidatkinje Andrijane Blečić.

Komisija predlaže Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta da rad pod nazivom “Primjena metoda objašnjive vještačke inteligencije u procesu kliničkog odlučivanja u kardiologiji”, kandidatkinje Andrijane Blečić prihvati kao master rad i odobri njegovu javnu usmenu odbranu.

U Podgorici, 31.01.2025. godine

KOMISIJA

Prof. dr Savo Tomović, redovni profesor PMF – mentor;

Doc. dr Igor Jovančević, docent PMF – član;

Prof. dr Miroslav Bojović, redovni profesor ETF u Beogradu – član.

Andrijana Blečić
17.01.2025
M. Bojović