|  |  |
| --- | --- |
|  | Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad |

**UDK: 621.38**

**DOI:** [**https://doi.org/10.24867/24BE02Salihagic**](https://doi.org/10.24867/24BE02Salihagic)

**MAŠINSKO UČENJE – DETEKCIJA I PREPOZNAVANJE LICA**

**MACHINE LEARNING – FACE DETECTION AND FACE RECOGNITION**

Enisa Salihagić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj –** *U radu je koncizno objašnjena oblast Mašinskog učenja, njeni algoritmi i primena. Takođe, detaljno su objašnjeni algoritmi za detekciju i prepoz­navanje lica kroz primere i slike. Mašinsko učenje je grana veštačke inteligencije koja omogućava računarima da uče i poboljšavaju se na osnovu iskustva, bez eksplicitnog pro­gramiranja. Jedna od primena Mašinskog učenja je u de­tekciji i prepoznavanju lica, što podrazumeva identifikaciju ljudskih lica na digitalnim slikama ili video snimcima.*

**Ključne reči:** *Mašinsko učenje, detekcija lica, prepozna­vanje lica*

**Abstract** – *This paper provides a concise explanation of the field of Machine Learning, its algorithms, and its app­lications. Additionally, the algorithms for face detection and recognition are thoroughly explained with examples and images. Machine Learning is a branch of Artificial intelligence that enables computers to learn and improve based on experience without explicit programming. One of the applications of Machine learning is face detection and recognition, which involves identifying human faces in digital images or videos.*

**Keywords:** *Machine learning, face detection, face recog­nition*

**1. UVOD**

Mašinsko učenje je podoblast veštačke inteligencije koja se bavi algoritmima i statističkim modelima koji omogućavaju računarskim sistemima da poboljšaju svoj performans na zadatku učeći iz podataka, bez eksplicitnog programiranja.

Mašinsko učenje ima širok spektar primena, uključujući prepoznavanje govora, obradu teksta, robotiku, kompjutersku viziju i sl. Bazira se na ideji da mašine mogu učiti iz podataka i iskustva, prepoznavajući obrasce i donoseći predviđanja ili odluke. Algoritmi mašinskog učenja dele se na tri kategorije: nadgledano učenje, nenadgledano učenje i učenje uslovljavanjem.

Algoritmi nadgledanog učenja uče iz obeleženih podataka, dok algoritmi nenadgledanog učenja uče iz neobeleženih podataka. Koraci koje obuhvata mašinsko učenje su:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Rajs, red. prof.**

* Prikupljanje podataka u bilo kom obliku pogodnom za obradu.
* Obrada podataka, gde se podaci čiste i pojednostav­ljuju, tako da model mašinskog učenja može lakše da ih procesuira.
* Podela ulaznih podataka na skupove za obuku, unakrsnu validaciju i testove.
* Izgradnja modela sa odgovarajućim algoritmima i tehnikama na setu za obuku.
* Treniranje modela, gde se podaci prosleđuju modelu mašinskog učenja, tako da model može razumeti podatke i dobiti uvid u njih.
* Testiranje konceptualizovanog modela sa podacima koji nisu uneti u model u vreme treninga i procena njegovog učinka pomoću različitih metrika.

Mašinsko učenje predstavljaju algoritmi koji raščlanjuju informacije koje uče iz ulaznih podataka, a zatim prime­njuju ono što nauče kako bi donosili odluke. Algoritmi uz pomoć podataka daju izlaz. Svaka naučena informacija ulazi u model mašinskog učenja u kontinuiranim cik­lusima između izlaza modela i ponovnog treniranja sa ulaznim podacima. Tri glavne komponente modela mašin­skog učenja su: podaci, algoritam i trening.

**2. Nadgledano učenje**

Nadgledano učenje je obrazac mašinskog učenja za sticanje informacija o odnosu ulaza i izlaza sistema, zasnovanog na skupu uparenih ulazno izlaznih podataka za obuku. Ti podaci čine trening podatke, koji se prosleđuju modelu i nazivaju se označenim podacima. Cilj nadgledanog učenja je da se izgradi veštački sistem koji može naučiti kako su mapirani ulaz i izlaz, kao i da na novim podacima može predvideti izlaz iz sistema. Ulaz i izlaz se najčešće predstavljaju u vektorskom obliku i označavaju sa *x* i *y* , pri čemu je *x* tipično vektor vrednosti promenljivih koje se nazivaju atributima i predstavljaju različite karakteristike promenljive, dok je *y* tipično jedina promenljiva koja se naziva ciljnom promenljivom. Dijagram 1 ilustruje formu nadgledanog učenja.

Tipičan tok rada nadgledanog učenja, u kojem su prosle­đeni trening podaci u algoritam mašinskog učenja za us­klađivanje prediktivnog modela koji može da izvrši pred­viđanje na novim, neoznačenim ulaznim podacima, prika­zan je na dijagramu 2.

Description: Diagram

Description automatically generated

Dijagram 1. *Forma nadgledanog učenja*

Description: Diagram

Description automatically generated

Dijagram 2: *Tipičan tok rada nadgledanog učenja*

U nadgledanom učenju postoje različiti zadaci kao što su: klasifikacija i regresija.

**2.1. Klasifikacija**

Klasifikacija predstavlja pristup mašinskog učenja koji se koristi za predviđanje članstva u grupi za nove instance podataka na osnovu skupa ulaznih karakteristika. U problemu klasifikacije, podaci za obuku se sastoje od skupa instanci sa poznatim oznakama klasa, a cilj je naučiti mapiranje od ulaznih karakteristika u oznake klasa. Postoje različite tehnike koje se koriste za klasifikaciju, kao što su: Drvo odluke, Naivni Bajesov klasifikator, SVM, K-najbližih suseda itd.

**2.2. Regresija**

Regresija je tehnika za istraživanje odnosa između nezavisnih varijabli ili karakteristika i zavisne varijable ili ishoda. Koristi se kao metod za prediktivno modeliranje u mašinskom učenju u kojem se algoritam koristi za predviđanje kontinualnih ishoda. Regresiona analiza sastavni je deo bilo kog modela predviđanja, tako da je uobičajena metoda u prediktivnoj analitici zasnovana na mašinskom učenju. Neke od najčešćih tehnika regresije u mašinskom učenju mogu se grupisati u sledeće tipove regresione analize:

* Jednostavna linearna regresija
* Višestruka linearna regresija
* Logistička regresija

**3. KOMPJUTERSKA VIZIJA**

Kompjuterska vizija je polje veštačke inteligencije koje omogućava računarima i sistemima da izvuku značajne informacije iz digitalnih slika, video zapisa i drugih vizuelnih ulaza i preduzmu radnje ili daju preporuke na osnovu tih informacija. U kompjuterskoj viziji pokušava se opisati svet kakvim ga vidimo u jednoj ili više slika i rekonstruisati njegova svojstva, kao što su oblik, osvetljenje i raspodela boja. Kompjuterska vizija se danas koristi u mnogobrojnim aplikacijama koje se primenjuju u industriji, a to su: optičko prepoznavanje karaktera, medi­cina, autonomni automobili, 3D modelovanje, nadzor i slič­no. Zadaci kompjuterske vizije obuhvataju metode za akviziciju, obradu, analizu i razumevanje digitalnih slika i ekstrakciju osti se izdvajaju iz podataka slike.

* Detekcija/segmentacija – u nekom trenutku obrade donosi se odluka o tome koje tačke ili regioni slike su relevantni za dalju obradu.
* High-level procesiranje – u ovom koraku, ulaz je tipično mali skup podataka za koji se pretpostavlja da sadrži određeni objekat.
* Donošenje odluka – u ovom koraku se donose konačne odluke potrebne za aplikaciju.

**3.1. Detekcija objekta**

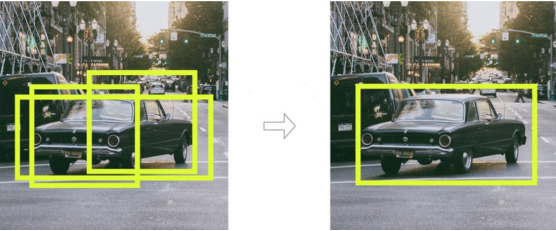
Detekcija objekata u kompjuterskoj viziji je zadatak lociranja i identifikacije objekata na slikama ili video snimcima. Koraci u detektovanju objekata su:

1. Ekstrakcija karakteristika: odnosi se na proces transformacije neobrađenih podataka slike u skup značajnih karakteristika koje predstavljaju objekte koji se otkriju.
2. Generisanje predloga objekta: odnosi se na proces generisanja skupa regiona kandidata na slici koji će verovatno sadržati objekte.
3. Klasifikacija objekta: odnosi se na proces dodeljivanja oznake klase svakom od regiona kandidata, koji se generišu korakom generisanja predloga objekata. Cilj klasifikacije objekata je da se utvrdi koji od regiona kandidata zapravo sadrži objekte i da identifikuje kategoriju svakog objekta.
4. Lokalizacija objekta: odnosi se na proces određivanja precizne lokacije objekata unutar slike. Lokalizacija objekta prikazana je na slici 1.
5. Nemaksimalno potiskivanje: odnosi se na proces uklanjanja preklapajućih graničnih okvira koji odgovaraju istom objektu na slici. Detekcija pre i posle nemaksimalnog potiskivanja prikazana je na slici 2.

Description: A screenshot of a video game

Description automatically generated with medium confidence

Slika 1. *Lokalizacija objekta*



Slika 2. *Nemaksimalno potiskivanje*

Tačnost detekcije objekata može se proceniti korišćenjem metrike kao što je srednja prosečna preciznost, koja meri prosečnu preciznost predviđanja za sve klase i sve instance u skupu testova.

**3.2. Detektovanje lica**

Detekcija lica je specifičan zadatak u okviru domena detekcije objekata. Uključuje otkrivanje lica na slici ili video snimku i njihovo lokalizovanje crtanjem graničnih okvira oko njih.

Algoritmi za detekciju lica obično koriste kombinaciju izdvajanja karakteristika, predloga objekata i klasifikaciju da identifikuju i lokalizuju lica na slici. Cilj detekcije lica jeste da pronađe sva lica na slici i vrati njihove granične okvire, koji se zatim mogu koristiti za različite zadatke kao što su prepoznavanje lica, detekcija crta na licu i procena položaja glave.

Za detekciju lica korišćen je Histogram orijentisanih gradijenata. HOG radi tako što deli sliku na male ćelije i izračunava histograme orijen­tacije gradijenata unutar svake ćelije. Ovi histogrami se zatim spajaju da formiraju vektor karakteristika koji se može uneti u klasifikator mašinskog učenja kao što je SVM, da bi se donele odluke o detekciji objekta. Postoji nekoliko koraka prilikom izvršavanja ovog algoritma, a to su:

* Preprocesiranje slike
* Podela ćelija i blokova
* Izračunavanje gradijenata
* Normalizacija bloka
* Generisanje vektora karakteristika
* Detektovanje objekta

Preprocesiranjem slike izdvaja se robustan skup karak­teristika koje se mogu koristiti za obuku klasifikatora. Podela ćelija se odnosi na podelu slike na mrežu malih ćelija, dok se podela blokova odnosi na grupisanje skupa susednih ćelija u veće blokove.

Izračunavanje gradijenata predstavlja najvažniji korak deskriptora HOG. Gradijent predstavlja prikaz promena intenziteta na slici koji pomaže u merenju promena slike i na osnovu oštrih promena u nivoima intenziteta, detektuje se prisustvo ivice.

Normalizacija bloka uključuje normalizaciju histograma orijentacija gradijenta izračunatih za svaki blok ćelije na slici. Generisanje vektora karakteristika uključuje spajanje normalizovanih histograma orijentacija gradijenata izračunatih za svaki blok ćelija na slici da bi se formirao vektor karakteristika. HOG karakteristike se dalje koriste za donošenje odluka o detekciji objekata, kao što je određivanje prisustva i lokacije objekata od interesa u okviru slike ili video zapisa.

**3.3. Prepoznavanje lica**

Prepoznavanje lica je tehnologija koja omogućava računaru da identifikuje i verifikuje osobu sa digitalne slike ili video kadra iz video izvora. Uključuje otkrivanje i izdvajanje crta lica sa slike, a zatim upoređivanje tih karakteristika sa bazom podataka poznatih lica, kako bi se pronašlo podudaranje. Proces prepoznavanja lica se deli u nekoliko faza:

1. Detekcija lica: uključuje otkrivanje prisustva lica u okviru slike i lociranje njegovog položaja.
2. Ekstrakcija karakteristika: uključuje izdvajanje jedinstvenih i relevantnih informacija iz slike lica da bi se ono predstavilo kao kompaktni vektor karakteristika.
3. Poređenje: ova faza uključuje upoređivanje izdvojenih crta lica sa bazom podataka poznatih lica kako bi se pronašlo podudaranje.
4. Verifikacija i identifikacija: verifikacija lica je zadatak potvrđivanja identiteta lica upoređivanjem sa referentnim licem. Identifikacija uključuje određivanje identiteta lica koje se ispituje, upoređivanjem sa skupom lica iz baze podataka.

Najčešće korišćen algoritam za detekciju lica u realnom vremenu je *Haar Cascade*. Ovaj algoritam zasnovan je na konceptu *Haar* karakteristika, što su pravougaone karak­teristike koje su osnovni gradivni blokovi *Haar Cascade* klasifikatora. Koriste se za predstavljanje lokalnog kon­trasta slike i definišu se kao razlika u zbiru intenziteta piksela između dva susedna pravougaona regiona. Pravo­ugaona karakteristika je definisana njenom veličinom, oblikom i lokacijom unutar slike. Kombinacija nekoliko pravougaonih karakteristika može otkriti obrasce kao što su uglovi i ivice. Jednostavna karakteristika kao što je pravo­ugaoni region koji ima svetlo područije na levoj strani i tamno na desnoj, može otkriti ivice ili prelaze između svetlih i tamnih oblasti na slici upoređivanjem prosečnih intenziteta piksela dva regiona.

Koristeći veliki broj pravougaonih karakteristika i kombi­nujući ih na različite načine, klasifikator *Haar Cascade* može detektovati objekte sa visokom preciznošću, čak i u izazovnim uslo­vima kao što su različito osvetljenje, oklu­zija i delimična vidljivost. Kada je klasifikator obučen može se koristiti za detekciju objekata u realnom vremenu sa visokom preciz­nošću. U fazi detekcije, klasifikator se primenjuje na ulaznu sliku zajedno sa kliznim prozorom za detekciju. Tehnika kliznog prozora se koristi za traženje objekata od interesa na slici skeniranjem pravougaonog prozora fiksne veličine preko slike na različitim pozicijama i razmerama. Algo­ritam koristi nemaksimalno potiskivanje da bi uklonio pro­zore za detekciju koji se preklapaju i na izlazu daje skup otkrivenih lica.

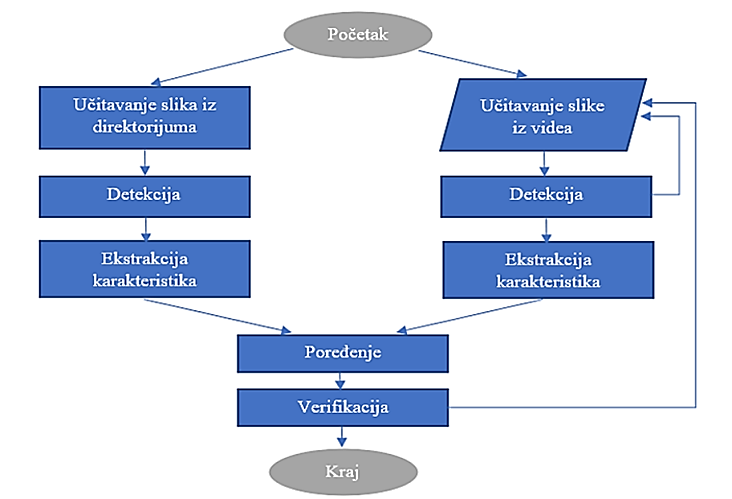
**4. ALGORITAM RADA**

Detekcija i prepoznavanje lica su dva povezana, ali različita zadatka kompjuterske vizije. Detekcija lica podrazumeva otkrivanje i lokalizaciju u okviru slike ili video zapisa, dok prepoznavanje lica podrazumeva identifikaciju osobe na osnovu njenih crta lica. Detekcija lica sastoji se od: uči­tavanja slike, preprocesiranja, primene algoritma za detek­ciju, detekcije, crtanja graničnog okvira, ekstrakcije karak­teristika i skladištenje u bazu podataka. U fazi prepro­cesiranja vrši se: promena veličine, skaliranje sive, izjed­načavanje histograma, normalizacija i Gausovo zamućenje. Algoritam za detekciju lica obično vraća skup pravouganih regiona na slici gde je detektovano lice.

Kada se lice detek­tuje, vrši se ekstrakcija karakteristika, gde se karakteristike lica pretvaraju u 128-dimenzionalni niz brojeva sa pokretnim zarezom i skladištenje tih vrednosti u bazu podataka.

Prepoz­navanje lica započinje detekcijom u realnom vremenu, a zatim se iscrtava granični okvir, ekstraktuju se karakteristike i skladište u 128-dimenzionalni vektor. Uz pomoć kNN kla­sifikatora vrši se klasifikacija da li je osoba detektovana u realnom vremenu ista osoba koja se treba prepoznati. Vektori se porede uz pomoć ugrađene funkcije **face\_recogni­tion.face\_compare** iz *Python* biblioteke **face\_recognition**.

Funkcija **face\_recognition.face\_compare** vraća niz logič­kih vrednosti koje pokazuju da li se svaki kod osobe detek­tovane u realnom vremenu, poklapa sa kodom lica osobe čije se lice želi prepoznati. Ova funkcija vrši poređenje vektora koristeći Euklidsko rastojanje između njih, koje meri rastojanje između dve tačke u višedimenzionalnom prostoru. Celokupan algoritam prikazan je na dijagramu 3.



Dijagram 3: *Algoritam prepoznavanja lica*

**5. ZAKLJUČAK**

Detekcija i prepoznavanje lica su važne i korisne tehnologije u oblasti računarske vizije koje imaju mnogo primena, uključujući video nadzor, bezbednost, praćenje pokreta i druge.

Detekcija lica može se realizovati različi­tim metodama i tehnikama, kao što su detekcija crta lica, detekcija kontura lica, neuronske mreže i mašinsko uče­nje. Međutim, detekcija lica nije savršena i može biti izazovna u određenim situacijama, kao što su nedostatak svetla, oštećene slike ili varijacije u boji kože.

Jedna od glavnih ograničenja algoritma za detekciju lica HOG jeste to što je veoma zavisan od veličine, orijen­tacije i oblika objekta koji se detektuje. Dodatno, HOG može imati problema sa detekcijom objekata koji su viso­ko teksturirani ili imaju složenu pozadinu, jer to može ometati gradijente karakteristika od kojih algoritam zavisi.

Prepoznavanje lica je složen proces koji uključuje detek­ciju lica, izdvajanje karakteristika lica, stvaranje predstave lica i klasifikaciju. Izazovi sa kojima se prepoznavanje lica susreće uključuju nedostatak preciznosti u određenim situacijama, osetljivost na promene u okolini i mogućnost pogrešne identifikacije.

Algoritam korišćen za detekciju lica u realnom vremenu, *Haar Cascade*, predstavlja moćnu tehniku, ali jedno od glavnih ograničenja ovog algoritma jeste osetljivost na rotaciju i veličinu lica koje se detektuje. Takođe, algoritam može imati poteškoća u detekciji lica koja su delimično sakrivena, poput lica koja su delimično prekrivena rukom ili drugim objektima.

**6. LITERATURA**

[1] Albalate, Amparo; Minker, Wolfgang, *Semi-Supervised and Unsupervised Machine Learning,* Wiley-ISTE, London, 2011. [PDF]

[2] Albon,Chris, *Machine Learning with Python Cookbook*, O’Reilly Media, Inc, Sebastopol, 2018. [PDF]

[3] Burkov, Andriy, *The Hundred Page Machine Learning Book*, Andriy Burkov, 2019. [PDF]

[4] Buduma, Nikhil; Lacascio, Nicholas, *Fundamentals of Deep Learning*, O’Reilly Media, Inc., Sebastopol, 2017. [PDF]

[5] Bousquet, Olivier; Ulrike von Luxburg; Ratsch, Gunnar, *Advanced Lectures on Machine Learning*, ML Summer Schools, Canberra, 2003. [PDF]

[6] Cyganek, Boguslaw, *Object detection and recognition in digital images – Theory and practice*, A John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, 2013. [PDF]

[7] Davies, E. R., *Computer&Machine Vision – Theory, Algorithms, Practicalities 4th Edition*, Academic Press, Massachusetts, 2012. [PDF]

[8] Dey, Sandipan, *Hands-On Image Processing with Python*, Packt Publishing, Birmingham, 2018. [PDF]

[9] Elgendy, Mohamed, *Deep Learning for Vision Systems Version 6*, Manning Publications, New York, 2019. [PDF]

**Kratka biografija:**

**Enisa Salihagić** rođena je u Tutinu, 1996. godine. Diplomirala na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2020. Godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Mikroračunarska elektronika.