

CENTAR ZA STRNA ŽITA I RAZVOJ SELA
KRAGUJEVAC

Пољопривредна Огледна Контролна Станица

**Naučni skup nacionalnog karaktera
125 GODINA PRIMENJENE NAUKE
U POLJOPRIVREDI SRBIJE**

Zbornik radova

НАРОДНА РЕПУБЛИКА СРБИЈА
ЗЕМАЉСКИ ИНСТИТУТ
ЗА ПОЉОПРИВРЕДНА ИСТРАЖИВАЊА

КРАЉЕВИНА ЈУГОСЛАВИЈА
ПОЉОПРИВРЕДНА ОГЛЕДНА И КОНТРОЛНА
СТАНИЦА

ИНСТИТУТ
ЗА ПОЉОПРИВРЕДНА ИСТРАЖИВАЊА
КРАГУЈЕВАЦ

Kragujevac, 22. jun 2023. godine

КРАГУЈЕВАЦ

ЗБОРНИК РАДОВА

Пољопривредна Огледна Контролна Станица



КРАЉЕВИНА ЈУГОСЛАВИЈА
ПОЉОПРИВРЕДНА ОГЛЕДНА И КОНТРОЛНА
СТАНИЦА



Пољопривредна огледна и контролна Станица
ТОПЧИДЕР
№ 151 а/III
Station Agricole d'Essais et de Controle
TOPČIDER - BEOGRAD (S. H. S.)

ИНСТИТУТ
ЗА ПОЉОПРИВРЕДНА ИСТРАЖИВАЊА
КРАГУЈЕВАЦ



НАРОДНА РЕПУБЛИКА СРБИЈА
ЗЕМАЉСКИ ИНСТИТУТ
ЗА ПОЉОПРИВРЕДНА ИСТРАЖИВАЊА

ISBN 978-86-905494-0-5



9 788690 549405

CENTAR ZA STRNA ŽITA I RAZVOJ SELA KRAGUJEVAC

Naučni skup nacionalnog karaktera

**125 godina primenjene
nauke u poljoprivredi Srbije**

ZBORNİK RADOVA

Kragujevac

22. jun 2023.

Zbornik radova
125 godina primenjene nauke u poljoprivredi
Srbije

Naučni skup nacionalnog karaktera

Kragujevac, 22. jun 2023.

Izdavač

Centar za strna žita i razvoj sela Kragujevac
www.strnazita.rs

Za izdavača

dr Zorica Jestrović
v.d. direktora Centra za strna žita i razvoj sela

Glavni i odgovorni urednik

dr Vladimir Perišić, naučni saradnik

Urednici

dr Kristina Luković, naučni saradnik
dr Kamenko Bratković, naučni saradnik

Štampa

Maestro 111, Čačak

Godina

2023.

Tiraž

150 komada

ISBN

978-86-905494-0-5

**PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U OPLEMENJIVANJU
POLJOPRIVREDIH BILJAKA**

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE
BREEDING OF AGRICULTURAL PLANTS**

Slaven Prodanović¹, Kristina Luković², Irena Radinović¹

¹*Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Beograd*

²*Centar za strna žita i razvoj sela, Kragujevac*

Autor za korespondenciju: slavenp@agrif.bg.ac.rs

Izvod

Pri donošenju odluka o selekcionom materijalu na osnovu prikupljenih podataka, oplemenjivači širom sveta sve češće koriste veštačku inteligenciju. Termin „veštačka inteligencija“ (VI) opisuje sposobnost mašina da oponašaju ljudsku inteligenciju. Ovaj rad ima za cilj da prikaže način funkcionisanja VI uz objašnjenje odgovarajućih termina, kao što su: algoritam, mašinsko učenje, duboko učenje, neuronska mreža, stabla odlučivanja, mašine vektora podrške, obuka ili trening za razvoj VI, računarstvo u oblaku, grafičke procesorske jedinice (GPU) i lokalni klasteri GPU. U radu se navode aktuelni oblici korišćenja VI u oplemenjivanju biljaka i diskutuju mogućnosti i izazovi primene VI u narednom periodu.

Ključne reči: mašinsko učenje, model, genotip, fenotipiranje, izazovi

Abstract

When making decisions about selection material based on collected data, breeders around the world are increasingly using artificial intelligence. The term "artificial intelligence" (AI) describes the ability of machines to imitate human intelligence. This paper aims to show how AI works by explaining the relevant terms, such as: algorithm, machine learning, deep learning, neural network, decision trees, support vector

machines, training for AI, cloud computing, graphics processing units (GPUs) and local GPU clusters. The paper lists the current forms of using AI in plant breeding and discusses the possibilities and challenges of using AI in the future.

Key words: machine learning, model, genotype, phenotyping, challenges

Uvod

Oplemenjivanje biljaka kao interdisciplinarna nauka se izuzetno brzo razvija. Uvode se nove tehnologije koje unapređuju i ubrzavaju stvaranje novih sorti. Saznanja o genetičkoj osnovi biljaka se kontinuirano multipliciraju. Sekvencirani su genomi svih značajnih poljoprivrednih biljaka (Elshire et al., 2011). Stvorene su ogromne baze podataka o DNK, RNK i proteinima. Proširio se spektar naučnih disciplina, nastao je niz omika, kao što su genomika, proteomika, metabolomika, kompjutomika i druge. U prikupljanju podataka sve veću ulogu imaju robotika, senzori, dronovi, imaging i slično. Za uspešno oplemenjivanje, pri donošenju odluka o selekcionom materijalu na osnovu prikupljenih podataka, oplemenjivači sve češće koriste veštačku inteligenciju (= VI, eng. artificial intelligence, AI) (Naik et al., 2017, Yoosefzadeh-Najafabadi et al., 2021).

Termin „veštačka inteligencija“ opisuje sposobnost mašina da oponašaju ljudsku inteligenciju. VI se primenjuje u skoro svakom sektoru ljudskih delatnosti. Na ulici se vide automobili bez vozača, a na prugama vozovi bez mašinovođa. Na nebu se nalaze sateliti koji snabdevaju podacima VI radi prognoziranja vremena. Studenti koriste Open AI za pisanje seminarskih radova, milioni ljudi četuju na internetu sa VI. Gugl dupleks (= eng. Google Duplex) je tehnologija VI koja omogućuje oponašanje ljudskog glasa i može da obavlja telefonske pozive u ime osobe. Nesagledive su mogućnosti i sama budućnost VI. VI je skopčana sa kontraverzama, kao i GMO. Postoji strah od VI, kao i zahtevi da se zaustavi svaki dalji rad na VI.

Ovaj rad ima za cilj da prikaže način funkcionisanja VI uz objašnjenje odgovarajućih termina, kao i da navede kako se trenutno koristi VI u oplemenjivanju biljaka i koje su mogućnosti i izazovi primene VI u narednom periodu. S obzirom da do sada VI još nije primenjena u

oplemenjivačkoj praksi u Srbiji, jedan od ciljeva rada je da podstakne istraživanja u ovoj oblasti.

Način funkcionisanja veštačke inteligencije i odgovarajući termini

Algoritam - Algoritam je procedura kojom se rešava određeni problem ili izvodi određena kalkulacija/procedura. Algoritam predstavlja listu instrukcija za sprovođenje radnje korak po korak u rutinama zasnovanim na hardveru ili softveru. Algoritmi se široko koriste u svim oblastima IT. Za izražavanje algoritma koje izvršava računar upotrebljavaju se programski jezici. Ulazni podaci u funkcionisanju algoritma su u obliku brojeva ili reči. Oni prolaze kroz niz preciznih koraka ili proračuna, uključujući aritmetičke procese i procese donošenja odluka. Izlaz je poslednji korak u algoritmu. Postoji nekoliko tipova algoritama, a oni se razlikuju po tome za koje zadatke su dizajnirani. Na primer: 1. Algoritam pretraživača vrši pretragu svoje baze podataka prema ključnim rečima, 2. Algoritam šifrovanja ili enkripcije (eng. Encryption) transformiše podatke kako bi ih zaštitio od neovlašćene upotrebe, 3. Greedy algoritam rešava probleme optimizacije pronalazanjem lokalno najboljeg rešenja, itd.

Mašinsko učenje koristi različite algoritme. Mašinsko učenje može biti: 1. pod nadzorom ili 2. bez nadzora. Pri nadziranom mašinskom učenju, operateri snabdevaju složene algoritme sa označenim trening podacima i definišu varijable koje žele da algoritam reši. Navedeni su i ulaz i izlaz algoritma. Pri mašinskom učenju bez nadzora koriste se algoritmi koji se treniraju na neobeležanim podacima. Algoritmi za mašinsko učenje bez nadzora pregledaju neoznačene podatke da bi potražili obrasce koji se mogu koristiti za grupisanje tačaka podataka u podskupove.

Duboko učenje je specifičan tip mašinskog učenja koji omogućava veštačkoj inteligenciji da uči i poboljšava se obradom podataka. Većina vrsta dubokog učenja su algoritmi bez nadzora.

Mašinsko učenje i duboko učenje se zasniva na primeni neuronskih mreža (NN), stabla odlučivanja (DT), mašine vektora podrške (= eng. Support Vector Machine, SVM) i drugih algoritama.

Neuronske mreže su veoma slične biološkim neuronskim mrežama u ljudskom mozgu. Najpoznatija NN je konvolucijska neuronska mreža. Ime je dobila ime po konvolucionim filtrima, čija je uloga da izoštravaju i zamućuju slike, kao i da detektuju ivice pomoću kojih se otkrivaju objekti

na slici. Za konvolucijske neuronske mreže vezuje se pojam dubokog učenja. Glavni element od koga je sačinjena mreža jeste neuron. Na ulaz mreže dovode se slike. Ako se dovede slika manjih dimenzija 100x100, u tri kanala (RGB, eng. red, green, blue), to čini 30 000 neurona na ulazu i predstavlja veliki broj za treniranje mreže. Zbog toga konvolucijska mreža ne sadrži potpuno povezane slojeve do samog kraja. Najčešće ove mreže sadrže veći broj slojeva kako bi se otkrile bitne osobine, odnosno kreirale mape karakteristika objekata kao izlaz algoritma.

Stablo odlučivanja (= DT, eng. Decision Tree) je neparametarski nadzirani algoritam učenja, koji se koristi i za svrstavanje podataka u grupe i za regresijske zadatke. DT ima hijerarhijsku strukturu stabla, sastavljenu od: 1. nodusa korena, 2. grana, 3. internih nodusa i 4. nodusa listova koji predstavljaju sve moguće ishode unutar skupa podataka. Mašinsko učenje stabla odlučivanja sprovodi pretragu radi identifikovanja optimalnih tačaka razdvajanja unutar stabla. Ovaj proces razdvajanja se zatim ponavlja na rekurzivni način odozgo prema dole dok svi ili većina zapisa ne budu klasifikovani pod određenim oznakama klase. Kao klasifikator može se koristiti algoritam slučajne šume (eng. Random forest) koji daje tačnije rezultate kada pojedinačna stabla nisu u korelaciji jedno sa drugim.

Mašina vektora podrške (= SVM, eng. Support Vector Machine) je algoritam za mašinsko učenje pod nadzorom koji se uglavnom koristi pri vršenju klasifikacije i regresije. Cilj SVM algoritma je da stvori najbolju liniju ili granicu odluke koja može da odvoji n-dimenzionalni prostor u klase tako da možemo lako da stavimo novu tačku podataka u ispravnu kategoriju u budućnosti. Ova granica najbolje odluke naziva se hiper-ravan. SVM bira ekstremne tačke/vektore koji pomažu u kreiranju hiper-ravni. Ovi ekstremni slučajevi se nazivaju vektori podrške, pa otuda naziv algoritma.

Obuka, odnosno trening, neophodan je deo u realizaciji projekta mašinskog učenja da bi se razvila funkcionalna veštačka inteligencija. Kao što dete mora da prođe kroz proces obrazovanja, tako se VI mora obučiti da pravilno percipira i tumači podatke i na osnovu njih donosi tačne odluke. Obuka je složeni proces, koji se sastoji od tri faze: 1. inicijalnog treninga, 2. validacije i 3. testiranja.

Inicijalni trening se odvija kroz davanje skupa podataka modelu VI i traženje da se na osnovu njih donese odluka. U ovoj fazi VI može doneti čudne i pogrešne odluke, jer tek počinje da uči. Operater treba da uoči

ove greške i da izvrši prilagođavanja koja pomažu VI da postane tačnija. Broj podataka za trening, odnosno veličina trening populacije, zavisi od tipa projekta. Bitno je da se za mašinsko učenje obezbede visokokvalitetni, dobro obeleženi podaci. VI mora imati kontekstualne smernice koje joj pomažu da pravilno uči i interpretira podatke, na primer da razlikuje zdravo od bolesnog tkiva, da razlikuje koren od stabla. Ako se VI trenira pomoću podataka nezadovoljavajućeg kvaliteta ili pogrešno označenih, na izlazu će se dobiti loše odluke, na šta ukazuje GIGO pravilo: smeće unutra, smeće napolje (= eng. garbage in garbage out). Takođe treba izbegavati preterivanje (ili prepunjavanje), a što se odnosi na slučaj kada se model mašinskog učenja tako blisko uskladi sa određenim skupom podataka da ga on pamti, a ne uči iz njega, usled čega VI često nije u stanju da pravilno protumačiti nove podatke.

Validacija je faza nakon inicijalnog treninga, u kojoj operater posmatra kako VI radi kada mu se da novi skup podataka. Ako se VI ponaša prema očekivanju onda nema potrebe za dodatnim treningom.

Testiranje je završna faza obuke u kojoj se procenjuje da li VI donosi tačne odluke na osnovu podataka koji ne sadrže nikakve oznake. Ukoliko je to slučaj, započinje se sa primenom VI u skladu sa namenom. Od dobrih modela VI očekuje se da budu robusni, odnosno prilagođeni za različite uslove i varijante. Na primer, robusan je model koji može prepoznati sorte pšenice na osnovu slike načinjene po sunčanom i po oblačnom vremenu.

Sprovođenje obuke vrši se uz pomoć računarstva u oblaku, grafičke procesorske jedinice (GPU) i lokalnih klastera GPU.

Računarstvo u oblaku (= eng. Cloud Computing) je koncept da se informatičke usluge isporučuju korisnicima putem interneta. Suština uvođenja oblaka je da korisnik ne mora da čuva na svom personalnom računaru (PC) složene softvere i baze podataka koje zahtevaju puno memorije i da ne mora da stalno nabavlja najsavremenije hardvere. Dovoljno je da ima pametni telefon, tablet ili najjeftiniji PC sa web pretraživač kako bi pristupio Internetu, a dalje se svo opterećenje prenosi na oblak. Usluge su merljive i plaćaju se provajderu, slično kao račun za struju ili gas. Servisi koji rade na principu oblaka su Gmail, Yahoo, Google, Amazon itd.

Grafičke procesorske jedinice (GPU) imaju osnovnu ulogu u obradi grafike posebno pri igranju igrica na PC, ali su razvijene njihove nove mogućnosti u mašinskom učenju, VI i drugim sadržajima. Savremene

GPU imaju izuzetne računarske sposobnosti, one mogu da isporuče neverovatno grafičko ubrzanje u operacijama kao što je prepoznavanje slika i praćenje zraka. Lider u tehnologiji za obradu grafike je Intel.

VI u oplemenjivanju biljaka – mogućnosti i primena

Vasiljević et al. (2018) su vršili karakterizaciju i evaluaciju uzoraka 46 genotipova crvene deteline. Na osnovu podataka o fenotipskim vrednostima ove germplazme moguće je razviti model VI za prepoznavanje svake od ispitivanih populacija. Sličan pristup može se primeniti i za druge poljoprivredne biljake koje su fenotipirane u istraživanjima sprovedenim u agroekološkim uslovima Srbije, na primer za pšenicu (Luković et al., 2020), kukuruz (Popović et al., 2020), suncokret (Jocković et al., 2019), itd. Onoliko koliko je oplemenjivač sposoban da prepozna određenu sortu u kolekciji sorti, toliko je sposobna i VI ako je trenirana odgovarajućim podacima. Primenom VI bi se uštedelo vreme i ogroman rad koji se ulaže za fenotipizaciju i selekciju eksperimentalnog selekcionog materijala. Kod pšenice, VI se može obučiti da na osnovu fotografija određuje dužinu klasa, broj klasića u klasu i broj zrna u klasu. Kod kukuruza bi se VI mogla koristiti za sledeće komponente rodnosti: dužinu klipa, broj redova zrna, broj zrna u redu, broj zrna u klipu, oblik zrna i slično. Na osnovu fotografija iz vazduha mogla bi se primenom VI odrediti tolerantnost svake eksperimentalne linije ili F₁ hibrida na sušu ili proceniti njihov prinos. U više-sredinskim ogledima VI može analizirati interakciju G×E i izvršiti procena stabilnosti i adaptabilnosti sorti. Radinović et al. (2017) su obavili molekularnu karakterizaciju 46 populacija crvene deteline koje su prethodno fenotipizirane. Primenom VI moguće je povezati molekularni profil svakog genotipa sa njegovim fenotipskim vrednostima i odrediti da li postoji doprinos individualnih markera ovim vrednostima. Perić et al. (2021) su procenjivali heterozis i kombinacione sposobnosti kod kukuruza na osnovu genetičke distance između roditelja. VI može preporučiti roditelje za ukrštanja u cilju dobijanja prinosa potomstava na osnovu genotipa, transkriptoma, metabolitoma i fenotipa roditelja.

U brojnim oplemenjivačkim programima i zadacima, širom sveta, već se primenjuje VI. Ioosefzadeh-Najafabadi et al. (2021) su primenili algoritam mašinskog učenja za predviđanje prinosa soje na osnovu hiperspektralne refleksije. Naik et al., (2017) su pomoću dubokog mašinskog učenja automatizovali proces identifikacije, klasifikacije i

kvantifikacije stresa u biljkama. Konstruisali su veoma tačan model koji ne samo da može da pruži performanse na nivou obučenog patologa, već može i da objasni koji vizuelni simptomi se koriste za predviđanje. Zhang et al. (2017) su koristili mašinsko učenje za proučavanje asocijativnog mapiranja i genomske predviđanje. Postoji na stotine naučnih radova o primeni VI u oplemenjivanju poljoprivrednih biljaka.

Zaključak

O perspektivi i izazovima VI - Pred naučnom zajednicom i čovečanstvom nalaze se nesagledive mogućnosti VI, ali i brojni izazovi koji nas očekuju u narednom periodu. Teorijski, VI može biti uspešnija od oplemenjivača. VI obavlja proračune sa ogromnim brojem podataka velikom brzinom, ne iziskuje nadoknadu za svoju aktivnost i daje objektivnu i vrlo preciznu procenu ili rezultat. Za očekivati je da će VI koja se primenjuje u oplemenjivanju biljaka biti povezana sa VI u svim drugim oblastima ljudskih delatnosti. Možda jednom VI ne bude samo pomoćni alat oplemenjivačima, nego postane mehanizam koji određuje šta oplemenjivači treba da rade. Neophodno je nastaviti rad na razvoju primene VI, jer nauku je nemoguće zaustaviti, ali je neophodno da se unapređenju potencijala VI pristupa vrlo pažljivo.

Zahvalnica

Ovaj rad je deo projekta Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja R Srbije.

Literatura

- Elshire, R.J., Glaubitz, J.C., Sun, Q., Poland, J.A., Kawamoto, K., Buckler, E.S., Mitchell, S.E. (2011). A robust, simple genotyping-by-sequencing (GBS) approach for high diversity species. *PLoS ONE*, 6: e19379.
- Jockovic, M., Jovic, S., Prodanovic, S., Cvejic, S., Jockovic, J., Radanovic, A., Jockovic, B. (2019). Genetic Advance and Regression Analysis in Sunflower. *Genetika-Belgrade*, 51(3): 1075-1087.

-
- Lukovic, K., Prodanovic, S., Perisic, V., Milovanovic, M, Rajjicic, V., Zecevic, V. (2020). Multivariate Analysis of Morphological Traits and the Most Important Productive Traits of Wheat in Extreme Wet Conditions. *Applied ecology and environmental research*, 18(4): 5857-5871.
- Naik, H.S., Zhang, J., Lofquist, A., Assefa, T., Sarkar, S., Ackerman, D., Singh, A., Singh, A.K., Ganapathysubramanian, B., (2017). A real-time phenotyping framework using machine learning for plant stress severity rating in soybean. *Plant methods*, 13(1): 1-12.
- Peric, S., Stevanovic, M., Prodanovic, S., Mladenovic-Drinic, S., Grcic, N., Kandic, V., Pavlov, J. (2021). Genetic Distance of Maize Inbreds for Prediction of Heterosis and Combining Ability. *Genetika-Belgrade*, 53(3): 1219-1228.
- Popovic, A., Kravic, N., Babic, M., Prodanovic, S., Secanski, M., Babic, V. (2020). Breeding potential of maize landraces evaluated by their testcross performance. *Zemdirbyste-Agriculture*, 107(2): 153-160.
- Radinovic, I., Vasiljevic, S., Brankovic, G., Ahsyee, R., Momirovic, U., Perovic, D., Surlan-Momirovic, G. (2017). Molecular characterization of red clover genotypes utilizing microsatellite markers. *Chilean J. Agric. Res.*, 77(1): 41-47.
- Vasiljević, S., Radinović, I., Zorić, M., Branković, G., Milošević, B., Živanović, T., Prodanović, S. (2018). Fenotipska varijabilnost crvene deteline (*Trifolium pratense* L.) korišćenjem morfoloških markera. Zbornik apstrakata, 6. Simpozijum Sekcije za oplemenjivanje organizama Društva genetičara Srbije i 9. Simpozijum Društva selekcionera i semenara Republike Srbije, Vrnjačka Banja, 7-11.05.2018., 2018, 17-18. Izdavač: Društvo genetičara Srbije, Beograd i Društvo selekcionera i semenara Republike Srbije, Beograd. ISBN: 978-86-87109-14-8.
- Yoosefzadeh-Najafabadi, M., Earl, H. J., Tulpan, D., Sulik, J., & Eskandari, M. (2021). Application of machine learning algorithms in plant breeding: predicting yield from hyperspectral reflectance in soybean. *Frontiers in plant science*, 11, 624273.
- Zhang, J., Naik, H.S., Assefa, T., Sarkar, S., Reddy, R.V.C., Singh A., Ganapathysubramanian B., Singh A.K. (2017). Computer vision and machine learning for robust phenotyping in genome-wide studies. *Sci Rep* 7, art. no. 44048.

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

63(082)

НАУЧНИ скуп националног карактера 125 година примењене науке у
пољопривреди Србије (2023 ; Крагујевац)

Zbornik radova / Naučni skup nacionalnog karaktera 125 godina primenjene
nauke u poljoprivredi Srbije, Kragujevac 22. jun 2023 ; [glavni i odgovorni urednik
Vladimir Perišić]. - Kragujevac : Centar za strna žita i razvoj sela, 2023 (Čačak :
Maestro 111). - 213 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 150. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts

ISBN 978-86-905494-0-5

а) Пољопривреда -- Зборници

COBISS.SR-ID 117912585