

MODEL SIMULACIJE PAMETNE POLJOPRIVREDE POMOĆU AGENTSКИH TEHNOLOGIJA

Vladimir Pejanović¹, Nikola Petrović², Filip Đorđević³, Platon Sovilj⁴

^{1,2,3,4}Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹vladimirpejanovic@uns.ac.rs, ²petrovicnikola@uns.ac.rs, ³filip.djordjevic@uns.ac.rs, ⁴platon@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: U ovom radu predstavljen je novi model pametnog sela, razvijen koristeći agentske simulacije. Agentska simulacija predstavlja računarski model, simulaciju u kojem entiteti (agenti) interreaguju unutar okruženja kako bi simulirali složene sisteme i proučavali interoperabilnost u ponašanju, kako osoba, ruralnog okruženja tako i tehnoloških sistema. Ključni aspekt ovog istraživanja je mogućnost primene modela za optimizaciju i predikciju funkcionisanja celokupnog sistema pametnog sela, što obezbeđuje značajne prednosti u planiranju i upravljanju resursima.

Ključne reči: pametna poljoprivreda, pametno selo, agentska simulacija, optimizacija resursa, predikcija

SIMULATION MODEL OF SMART AGRICULTURE USING AGENT BASED MODEL TECHNOLOGY

Abstract: In this paper, a new model of a smart village is presented, developed using agent simulations. Agent simulation is a computer model, a simulation in which entities (agents) interact within an environment to simulate complex systems and study interoperability in behavior, of both individuals, rural environments, and technological systems. A key aspect of this research is the possibility of applying the model for optimization and prediction of the functioning of the entire smart village system, which provides significant advantages in planning and managing resources.

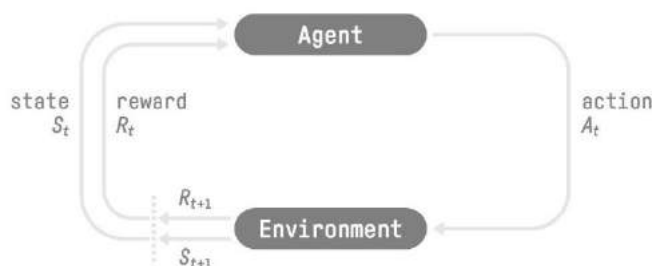
Key Words: smart agriculture, smart village, agent-based simulation, resource optimization, prediction

1. UVOD

Predstavljena tehnologija koristi softver Unity za razvoj simulacija baziranih na agentima, digitalnim entitetima koji omogućavaju obradu velikog broja različitih situacija i scenarija iz prakse. Simulacije zasnovane na agentima predstavljaju simulacije koje brzo napreduju kroz vreme, koristeći modelovanje zasnovano na agentima za proučavanje interakcija i ponašanja entiteta u dinamičkom okruženju. U kreiranom virtuelnom, simuliranom okruženju, agenti zajedno rešavaju probleme koristeći proces poznat kao linearno programiranje. Programski jezik koji se koristi za linearno programiranje mašinskih agenata u Unity-u je Python. Razlog tome leži u činjenici što *ML-Agents Toolkit* uključuje Python paket koji podržava sve metode i opcije za obuku agenata. Pored toga, Unity skripte koje definišu agente i njihovo ponašanje su obično napisane u C# programskom jeziku, jer Unity koristi C# za definisanje ponašanja i interakcija u igri. Ruralna područja imaju potrebu za sigurnošću i automatizacijom, a modelovanje bazirano na simulacijama omogućava predikciju, odnosno preventivu događaja koji mogu uslediti usled klimatskih promena, nepovoljnih vremenskih uslova, implementacije nove tehnologije ili pada prinosa. Cilj je da poljoprivrednici, odnosno farmeri, budu spremni na takve situacije i da ih preventivno, a ne kurativno, posleđično otklone. Uvođenje ove nove tehnologije omogućava bolje organizovanje, upravljanje i razvoj poljoprivrede. Ovakav oblik optimizacije je ključan za racionalno donošenje odluka na bazi informacija. Data tehnologija može da se primenjuje u brojnim oblastima privrede i društva. Poljoprivreda je samo jedna od oblasti gde je tehnologija simulacija baziranim na agentima našla primenu. Svakako, ova tehnologija nije u potpunosti precizna i nema, za sada, visoke performanse tačnosti i reprezentativnosti. Međutim, sa razvojem, unapređenjem, modifikacijama i inovacijama, tehnologija simulacija zasnovanih na agentima može postati ključna u brojnim oblastima društva i privrede. Neizvesnost i rizik koji prate poljoprivredu, kao i nizak životni standard mogu biti podignuti na viši nivo i značajno smanjeni rizici čineći ruralna područja i pametna sela kao željenim lokacijama za život, smanjujući ruralni egzodus i deagrarizaciju koja trenutno postoji u svetu, a pogotovo u Republici Srbiji.

Pojačano učenje (*Reinforcement Learning*) daje odgovor na pitanje šta raditi - kako mapirati situacije i povezati ih sa akcijama kako bi se maksimizirao numerički signal nagrade [1]. Agentu se ne govori koje akcije da preduzme, već mora otkriti koje akcije donose najviše nagrada isprobavajući ih. U najzanimljivijim i najizazovnijim slučajevima, akcije mogu uticati ne samo na trenutnu nagradu, već i na sledeću situaciju, kao i na sve buduće nagrade. Ove dve karakteristike - pretraga metodom pokušaja i greške i odložena nagrada predstavljaju dve najvažnije karakteristike pojačanog učenja [1]. Agent mora biti sposoban da do neke mere registruje stanje svog okruženja i mora biti sposoban da preduzme akcije koje utiču na dato stanje. Agent, takođe mora imati cilj ili ciljeve koji se odnose na stanje okruženja [1]. Problem pojačanog učenja se može formalizovati koristeći ideje iz teorije dinamičkih sistema, odnosno optimalnu kontrolu Markovljevih procesa odlučivanja [1]. Markovljevi procesi odlučivanja uključuju ova tri aspekta modela

baziranog na agentima, a to su senzacija, akcija i cilj [1].



Šema 1 Proces pojačanog učenja-zatvorena petlja stanja, akcije, nagrade i narednog stanja [2]

Upravljanje resursima predstavlja ključni faktor uspešnog započinjanja, vođenja i završetka procesa poljoprivredne proizvodnje za određenu poljoprivrednu sezonu. Za upravljanje resursima potrebno je znanje, veštine i sposobnosti, a nova tehnologija i digitalizacija omogućavaju farmerima da povećaju svoje znanje, da unaprede svoje veštine i da lakše i kvalitetnije automatizuju proces poljoprivredne proizvodnje, poboljšavajući ekonomski položaj i životni standard, i olakšavajući brojne fizičke aktivnosti u ruralnim krajevima. Ova nova tehnologija omogućava ne samo bolju informisanost i unapređenje veština u skladu sa predikcijama i preventivnim informacijama, već i upravljanje resursima tako da budu alocirani samo oni koji se mogu upotrebiti za najefikasniji način rada, u pravo vreme, na pravom mestu i u tačno određenoj količini, kako kaže krilatica pametne poljoprivrede, kao jednog od servisa pametnih sela. Međutim, simulacija, odnosno model agenata, može se upotrebiti u drugim servisima pametnih sela poput energetske efikasnosti, upravljanja otpadom, analize i očuvanja pijaće vode, u sanitarnom monitoringu, upravljanju prihranom, racionalizacijom primene đubriva, u održivom razvoju, telezdravstvu, E-obrazovanju i E-komercu.

2. METODOLOGIJA

Što se tiče metodologije koja se koristila prilikom izrade ovog rada, korišćena je značajna literatura iz ove mlade, ali prodorne oblasti informacionih tehnologija. Korišćena je metoda naučne hipoteze, postavljeni su naučni problem istraživanja, naučni projektni zadatak i objekti naučnog istraživanja. Osnovna hipoteza u radu je da tehnologija simulacije putem metode bazirane na agentima može u značajnoj meri optimizovati i racionalizovati upotrebu resursa u poljoprivrednoj proizvodnji. Takođe, urađena je studiozna analiza dosadašnjih istraživanja na ovu temu. Od ostalih metoda koristili smo deskriptivni metod, komparativni metod, metode programiranja, metod posmatranja i metod prognoziranja [3].

Što se tiče metode programiranja, ona podrazumeva postupak, proceduru, pravila i načine kreiranja, izrade, izgradnje odgovarajućih programa. Programiranje je glagolska imenica od reči programirati. Da bi se razumela metoda, potrebno je apostrofirati nekoliko izraza, i to [3]: (1) Program kao popis operacija i naredbi koje računar razume u svrhu obavljanja nekog zadatka, na primer, računarski program, odnosno softver. Zatim, izvorišni kod koji se sastoji od simboličkih naredbi napisanih u assembleru i koji se kasnije prevodi u mašinski jezik. (2) Usluga, to jest informatički program prilagođen korisniku za funkcionalan rad sa bazama podataka. (3) I na kraju, glagol u obliku programirati čija su najvažnija značenja program ili konačan plan, zamisliti ili postaviti određeni proces, događaj ili delatnost prema određenom programu, zatim drugo tumačenje: stvoriti ili stvarati određenom tehničkom sistemu konačna uputstva za automatski rad u nekim situacijama koje se primenjuju u tehničkim naukama, i na kraju, izraditi ili izrađivati računarske programe u informacionim i računarskim naukama.

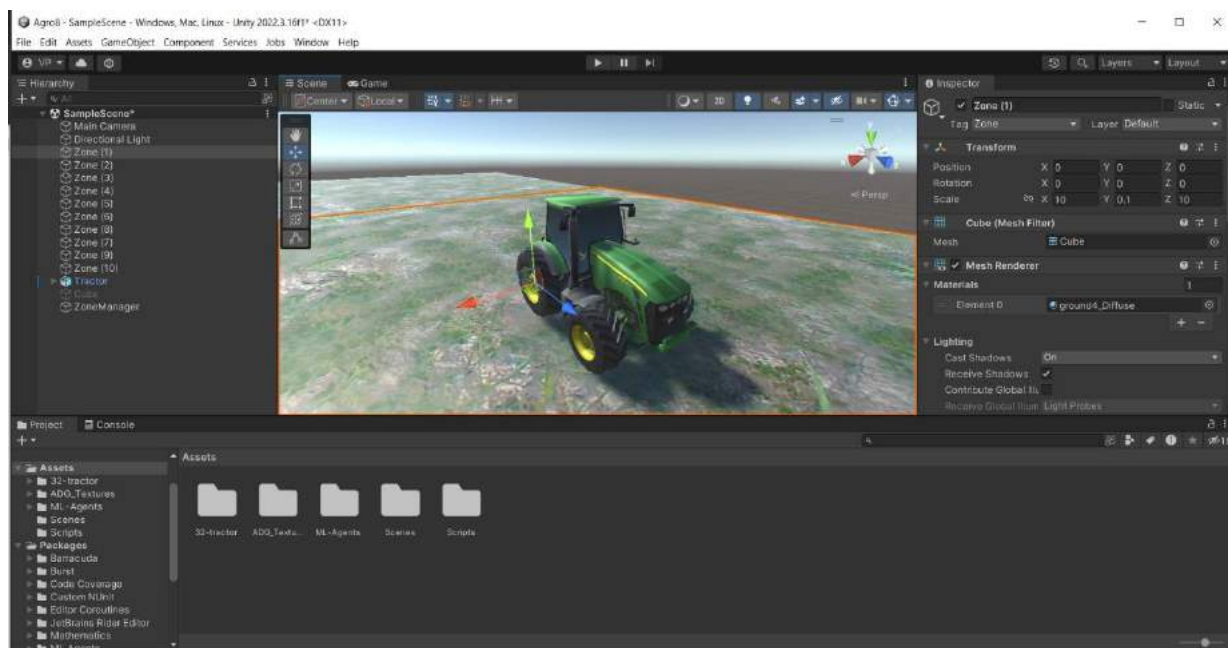
U ovom radu, odnosno u opisu i analizi primene tehnologije simulacije baziranoj na modelu agenata u poljoprivrednoj proizvodnji, korišćene su i kvantitativne metode istraživanja, uključujući naučne metode modelovanja. Pomenute metode modelovanja koriste principe kao što su modeli stvarnog u idealnom i modeli konkretnog u apstraktnom. Prema gnoseološkim principima, u nekoliko logičkih grupa primenjeni su sledeći modeli: mikromodeli, makromodeli i mezo modeli, ili meta modeli, koji funkcionalno povezuju određene mikromodele i makromodele, i sadrže najbitnija obeležja, elemente i komponente određenih mikro i makro originalnih predmeta, pojava i fenomena kao primarne mezo objekte naučnih i razvojnih istraživanja [3].

Kompleksnost pomenutog sistema obuhvata različite vrste modela, uključujući jednostavne modele sa strukturama i funkcijama takvim da su jednostavni u svojoj građi i konceptu, sintetizovane modele koji logično i funkcionalno sintetišu, udružuju kompatibilne i komplementarne podatke, elemente, komponente, logičke predmete, pojave, fenomene kao primarne objekte naučnih i razvojnih istraživanja. Takođe su korišćeni i dinamički modeli primenjeni na primarnim objektima naučnih i razvojnih istraživanja, koje odlikuje neprekidno kretanje, dinamičnost, transformacija iz jednog u drugi oblik i slično, i koji se koriste prilikom analize, proučavanja, ocenjivanja postupaka, procedura, sa originalnih predmeta, na primer mašina ili sistema. Na kraju, korišćeni su konfliktni modeli koji predstavljaju dva konflikta originalnih predmeta, pojava, objekata naučnih i razvojnih istraživanja.

U okviru naučnih međusobno povezanih metoda koristili smo i kvantitativne naučne metode analize i sinteze, induktivne i deduktivne naučne metode, naučne metode apstrakcije i konkretizacije, kao i metode generalizacije i specijalizacije.

3. MODEL SIMULACIJE

Nova tehnologija koja je predmet ovog rada, iako se koristi za kreiranje 3D ili 2D računarskih video igara, našla je svoju primenu u simuliranju različitih okruženja i modelovanju različitih situacija u virtuelnom svetu, na osnovu parametara i podataka iz realnosti. Pametna poljoprivreda podrazumeva uvođenje novih tehnologija u oblast jedne od najtradicionalnijih privrednih grana čije su se određene metode i tehnike zadržale hiljadama godina. Korišćenje tehnologije simulacije modela baziranih na agentima, to jest simulacija u preciznoj poljoprivredi i pametnim selima, ima mnogobrojne koristi ne samo u predikciji informacija o mogućim situacijama koje očekuju farmere i stanovnike ruralnih područja, bilo da se tiče klimatskih promena, bolesti, kako životinjskih tako i biljnih, štetočinama i uticaju okoline i specifičnosti sredine u kojoj se ruralno područje nalazi. Da bi u punoj meri iskoristili potencijal ove nove tehnologije, potrebno je dizajnirati kompleksan sistem entiteta, kao što su agenti, koji međusobno utiču jedni na druge stvarajući okruženje i situacije slične realnosti, stvarajući virtualizaciju faktora, uticaja i efekata iz prakse, i na taj način omogućavajući predikciju i odvijanje određenih procesa u budućnosti bez stvarne upotrebe resursa, stvarnog ljudskog rada i stvarnih troškova. Pomenuta tehnologija poseduje značajan potencijal da se resursi, koji su u ruralnim područjima skupi, a koji se koriste u poljoprivrednoj proizvodnji, alociraju i optimizuju na najbolji mogući način, unapređujući tako poljoprivrednu proizvodnju, kako kvantitativno tako i kvalitativno. Poljoprivrednicima, to jest farmerima, omogućava se pristup informacijama o okruženju koje do sada nisu imali, omogućavajući značajan potencijal za upotrebu tih informacija u poljoprivrednoj praksi bez dodatnih troškova. Te informacije predstavljaju ključ precizne poljoprivrede u integrisanju njihovih tradicionalnih znanja sa informacijama, znanjem i edukacijom dobijenom kroz uspešnu, efektivnu i efikasnu poljoprivrednu praksu potpomognutu simulacijom kreirajući novo znanje farmera, znanje 21. veka. Jedan od preduslova ovog procesa je informatička pismenost farmera kako bi mogli da koriste digitalne alate i alatke i na taj način optimizuju svoju proizvodnju.



Slika 1 Podešavanje 3D modela agenta u simulaciji i vizuelna prezentacija u softveru Unity 2022.3.16f1

U našem sistemu modela baziranog na agentima razvijen je koncept koji se sastoji od nekoliko entiteta, sa različitim karakteristikama, koji međusobno komuniciraju i omogućavaju optimizaciju resursa, u ovom slučaju đubriva, kako bi se smanjila, ali i racionalizovala upotreba ukupne količine utrošenog đubriva, i kako bi u kraćem vremenskom roku bile obrađene prioritetne parcele, zone, tj. one sa najvećim prošlogodišnjim prinosima. Osnovni cilj je optimizacija resursa, to jest racionalno raspoređivanje đubriva, na bazi VRA (Variable Rate Application- Promenljive stope primene), a time i njegovo smanjivanje zarad eliminisanja negativnih efekata na obližnje vodotokove i prirodnu sredinu. Takođe, cilj optimizacija je i smanjivanje vremena potrebnog za đubrenje celokupne površine poljoprivrednog zemljišta, sa zonama sa visokim prošlogodišnjim prinosima kao prioriternim. Takođe, sistem treba da izmeri i predenu distancu agenta, to jest traktora, kojim bi se izmerila i na taj način optimizovala potrošnja goriva. Ovim sistemom je moguće napraviti 3D prezentaciju u video formatu kako bi se prikazao proces primene varijabilne stope aplikacije. Model baziran na agentima kao simulacija poljoprivrednog procesa u cilju optimizacije

resursa je uspostavljen od strane autora, formirani su entiteti, to jest 3D modeli učesnika u simulaciji, parametri, odnosno faktori koji utiču na troškove i optimizaciju resursa, i podešen je koncept, model funkcionisanja, ponašanja agenata u datoj virtualnoj sredini. Kreiranje modela je započeto i u velikoj meri završeno, uz potrebu dodatnih korekcija i podešavanja u budućim radovima na ovu temu. Ovaj model, po proceni autora, će imati veliku korist u racionalizaciji sredstava u poljoprivredi, optimizaciji resursa, minimiziranju troškova, automatizaciji rada poljoprivrednika i smanjenju negativnog uticaja na životnu sredinu. Moguće je povezivanje datog sistema predviđanja, optimizacije resursa i maksimiziranja efikasnosti u poljoprivredi sa automatizovanom mehanizacijom.

Da bi ovaj sistem, koji smo definisali, konfigurisali, razvili i optimizovali, a koji treba tek da prilagodimo za istraživanje i testiramo na realnim parametrima, dao validne i upotrebljive rezultate, potrebno je dodatno istaživanje. S obzirom da je za konfigurisanje i osposobljavanje sistema modela baziranog na agentima i kreiranje simulacije potreban duži vremenski period, rezultate testiranja simulacije i analize rezultata ćemo predstaviti u narednom periodu, kada ovaj proces i postupak budu završeni. Do tada, predstavljamo ovaj sistem kao potencijal za unapređenje poljoprivredne proizvodnje, kao i za informisanje i edukaciju poljoprivrednika o značajnim, upotrebljivim i za poljoprivrednu proizvodnju efektivnim i efikasnim digitalnim sredstvima i alatima.

Da bi sistem modela baziran na agentima bio uspostavljen, potrebno je konfigurisati računar na kome se koristi, u smislu da je potrebno prilagoditi računarsko okruženje i operativni sistem verziji i kompleksnosti softvera Unity, na kojem se razvija simulacija modela baziranog na agentima. Potrebno je upoznati kompleksan postupak kreiranja modela funkcionisanja agenata putem parametra ponašanja, koji predstavlja "mozak" datih entiteta. Takođe, značajno je proučiti instrukcije i uputstva kako Unity softvera, tako i ML-Agent (*ML-Machine Learning*) paketa, koji se koristi za treniranje agenata. Moguće je kreirati na hiljade istih simulacija koje imaju zajedničku centralnu memoriju, u kojoj pamte i procesiraju najbolje rezultate. Agenti u simulacijama nemaju jedan centralizovan sistem koji im izdaje naredbe, već odluke donose zajedno u decentralizovanom sistemu. Sistem je koncipiran tako da svaki agent donosi svoje odluke, ali i dalje rade zajedno da bi dobili optimizovane rezultate u što kraćem vremenskom periodu. Na osnovu toga moguće je dobiti model koji je ekvivalent višemesečnoj, višegodišnjoj, a sa dovoljnim računarskim resursima, ako ne i desetogodišnjoj praksi u poljoprivrednoj proizvodnji ili u nekoj drugoj oblasti.

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Ovaj sistem modela baziranog na agentima, iako po broju parametara jednostavan, nudi velike koristi u optimizaciji resursa, koje do sada poljoprivrednici nisu imali, u vidu simulacije i predikcije. Iako na prvi pogled jednostavan sa par agenata, nekoliko parametara i osnovnim interakcijama, za njega je potrebno poznavanje programiranja zarad kreiranja takozvanog "mozga" modela baziranog na agentima, što zahteva znanje C# programskog jezika. Softver Unity nudi, pored ovakvog kompleksnog kreiranja ponašanja i modela interakcije i interoperabilnosti između agenata, i grafički korisnički interfejs sa kojim je moguće u dobroj meri podesiti ponašanje, interakciju i međusobni sklad između pomenutih agenata sistema simulacije. Proces pokretanja simulacije modela zasnovanog na agentima uključuje faze poput parametrizacije, kreiranja parametarske datoteke, postavljanja parametrizovane simulacije definisanjem konstanti za svaki parametar koji će biti učitani, pokretanja obuke i pokretanje 3D ili 2D simulacije.

Sistem modela baziran na agentima, koji smo razvili kao autori, još nije testiran i konfigurisan do kraja. Model ima velike potencijale za razvoj i optimizaciju procesa u brojnim oblastima, ne samo u poljoprivredi. U tom smislu, on rešava problem optimizacije proizvodnje, koji u uslovima energetske krize, klimatskih promena, velike potražnje za hranom i inflacije, ima značajnu ulogu u povećanju konkurentnosti proizvodnje, kao i kvaliteta pojedinih proizvoda, pored toga što pomaže automatizaciji, povećanju životnog standarda farmera i zaštiti životne sredine. Kreirani softverski model je potrebno još razvijati i testirati zarad unapređenja performansi svih karika u simulaciji lanca poljoprivredne proizvodnje. U tom smislu, model simulacije će u narednom periodu od strane autora biti razrađen i doteran kako bi se videli rezultati i analize istraživanja.

5. LITERATURA

- [1] Richard S. Sutton and Andrew G. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*, 2nd ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 2018.
- [2] Internet stranica <https://huggingface.co/learn/deep-rl-course/unit5/how-mlagents-works>, Januar 2024.
- [3] Ratko Zelenika, *Znanstvene kvantitativne metode-metode izrade znanstvenog djela*, IQ plus d.o.o.-Kastav, Rijeka, 2015.
- [4] Franz Lanzinger, *3D Game Development with Unity*, 1st ed. CRC Press, 2022.
- [5] Lynne Hamill and Nigel Gilbert, *Agent-Based Modelling in Economics*, 1st ed. Wiley, 2016.
- [6] Kiyoshi Arai, Hiroshi Deguchi, and Hiroyuki Matsui, Eds., *Agent-Based Modeling Meets Gaming Simulation (Agent-Based Social Systems, 2)*, 2005th ed. Springer, 2006.
- [7] Jeff W. Murray, *C# Game Programming Cookbook for Unity 3D**, 2nd ed. CRC Press, 2021.
- [8] Marko M. Kostić, *Precizna poljoprivreda*, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2021.
- [9] Radovan Pejanović, *Ogledi iz agrarne i ruralne ekonomije*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2013.