

PRILOG KREIRANJU OPTIMALNOG PLANA SADNJE KUKURUZA UPOTREBOM METODE DINAMIČKOG PROGRAMIRANJA

AN ENCLOSURE TO THE CREATION OF THE OPTIMAL PLANTING PLAN OF CORN USING THE DYNAMIC PROGRAMMING METHOD

Milica Cvjetićanin, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA

Kratik sadržaj – Razvijen je model za kreiranje optimalnog plana sadnje kukuruza na osnovu fizički mogućih opsega sadnje date biljke, tako da nedeljni prinos rezultuje maksimalnom popunjenošću raspoloživih skladišta. Problem je rešen primenom metode dinamičkog programiranja nazvane Problem ranca. Pomenutom metodom izvršena je minimizacija gubitaka useva na godišnjem nivou.

Ključne reči: Teorija optimalnog upravljanja, Dinamičko programiranje, Optimizacija, Problem ranca

Abstract – Based on physical range of corn planting, an optimal corn planting model is being developed, so that the weekly yield results in the maximum occupancy of the available warehouses. The problem was solved using Dynamic Programming method called Knapsack Problem. With this method, yearly crop losses were minimized.

Keywords: Optimal control theory, Dynamic Programming, Optimization, Knapsack problem

1. UVOD

Dinamičko programiranje u kombinaciji sa analizom podataka predstavlja jedan od najmoćnijih alata za optimizaciju problema različitog tipa. Pomenuta kombinacija svoju primenu sve više nalazi i u poljoprivredi s obzirom na to da su klimatske promene rapidne, a konvencionalne tehnike reagovanja ne pružaju mogućnost za vršenje modelovanja na tako preciznom nivou i ujedno iziskuju mnogo više napora i vremena.

Cilj ovog rada jeste omogućavanje proizvodnje kvalitetnijih useva kukuruza i doprinos postizanju održivih lanaca ishrane kao posledice kreiranja planske sadnje ove biljke.

Ideja je da se korišćenjem algoritma problema ranca, tehnike dinamičkog programiranja, kreira optimalan plan sadnje različitih sorti kukuruza uzimajući u obzir vremenske opsege u toku godine kad isti moraju biti posađeni. Na ovaj način postiže se minimizacija biljnih otpada, maksimalna iskorišćenost datog zemljišta, kao i maksimalan prinos useva, čime se pruža doprinos umanjenju uticaja krize gladi u svetu.

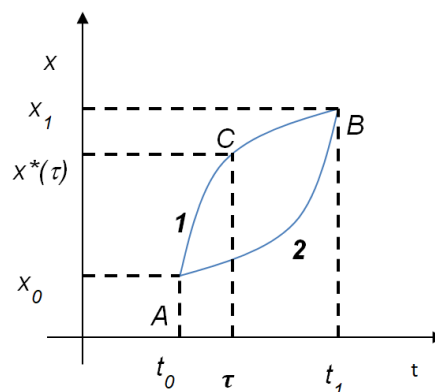
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željko Kanović, vanr. prof.

2. OSNOVNI TEORIJSKI POJMOVI

2.1. Dinamičko programiranje

Dinamičko programiranje [1] je optimizaciona metoda koja predstavlja mehanizam za rešavanje optimalnih upravljačkih problema. Konceptualnu ideju dinamičkog programiranja prvi je uveo R. Belman. Belmanova teorija se temelji na poznatom postulatu: "Optimalno upravljanje ima svojstvo da, bez obzira na početno stanje i početnu odluku, preostale donete odluke moraju činiti optimalnu politiku u odnosu na stanje koje proizilazi iz prve odluke" [2]. Fizički smisao ove definicije mogao bi se definisati zaključkom da je svaki deo optimalne putanje takođe optimalan. Rešavanjem Hamilton-Jakobi-Belmanove (HJB) parcijalne diferencijalne jednačine dobija se optimalno upravljanje u zatvorenoj povratnoj sprezi [3]. Problem optimalnog upravljanja odnosi se na pronalaženje upravljačkog signala $u^*(t, x)$ koji sistem definisan modelom $\dot{x} = f(t, x, u)$ vodi po trajektoriji $x^*(t) \in X$ takvoj da kriterijum optimalnosti $I = \int_{t_0}^{t_1} F(t, x, u) dt$ ima minimalnu/maksimalnu vrednost. Takođe poznat je početni uslov $x(t_0) = x_0$.



Slika 1. Grafički prikaz putanje AB

Ukoliko se putanja obeleženu brojem 2 (Slika 1) definiše kao optimalna, može se zapisati u sledećem obliku:

$$S(t_0, x_0) = \int_{t_0}^{t_1} F(t, x_{opt}(t), u_{opt}(t)) dt \quad (1)$$

Sa druge strane putanja 1 definisana je tako da deo putanje od tačke A do tačke C nije optimalan, dok je drugi deo putanje, od tačke C do tačke B optimalan. Shodno tome putanja obeležena brojem 1 modelovana je kao:

$$\int_{t_0}^{t_1} F(t, x, u) dt + S[\tau, x^*(\tau)], \quad (2)$$

gde važi da je $t_0 \leq t \leq \tau$.

Prateći osnovnu ideju Belman-ove teorije, a to je da svaki deo optimalne putanje mora biti optimalan, kao i činjenicu da postoji isključivo jedna optimalna putanja, na osnovu (1) i (2) uvodi se:

$$S(t_0, x_0) = \min \left\{ \int_{t_0}^{\tau} F(t, x, u) dt + S(\tau, x^*(\tau)) \right\} \quad (3)$$

Uzimajući u obzir da su vremenski trenuci t_0 i τ veoma bliski i razvojem izraza $S(\tau, x^*(\tau))$ u Tejlorov red dobija se opšti oblik HJB jednačine:

$$\frac{\partial S(t, x)}{\partial t} + \min \left\{ F(t, x, u) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial S(t, x)}{\partial x_i} f_i(t, x, u) \right\} = 0 \quad (4)$$

Prethodno opisani postupak jasno ukazuje na osnovnu ideju dinamičkog programiranja na kojoj se bazira čitava Belmanova teorija optimalnog upravljanja, a to je da se složen problem rešava razlaganjem na skup potproblema, čijom se optimizacijom i potom kombinovanjem formira jedinstveno optimizaciono rešenje početnog složenog problema.

Osnovna ideja primene dinamičkog programiranja sastoji se iz četiri koraka. Prvo je potrebno odrediti strukturu optimalnog rešenja, zatim je potrebno rekurzivno definisati optimalno rešenje, potom izračunati vrednosti optimalnog rešenja i na kraju konstruisati optimalno rešenje. Rekurzija se može sprovesti unapred ili unazad, dok se vrednost optimalnog rešenja može računati tehnikom odozgo na dole ili tehnikom odozdo na gore. Nezavisno od izabrane tehnike, svaki potproblem se rešava samo jednom, a jedina razlika je u tome na koji način se rešenje potproblema čuva i u kom momentu se ponovo koristi.

Postoji veliki broj algoritama koji se zasnivaju na dinamičkom programiranju. U okviru ovog rada korišćena je jedna od primena, takozvani Problem ranca (*eng. Knapsack problem*). It tog razloga će ovom algoritmu biti nešto više reči u nastavku.

2.2. Problem ranca

Problem ranca [4] predstavlja algoritam koji pomaže u rešavanju problema kombinatorike. Od svih varijacija ovog algoritma u ovom radu je, nakon niza testova, kao najpogodnija odabrana je primena 0-1 algoritma ranca i to koristeći pristup koji se oslanja na dinamičko programiranje. Metoda 0-1 bazira se na tome da objekat može biti ili izabran u celosti pri čemu dobija vrednost 1 ili ne biti izabran uopšte i dobiti vrednost 0 [5].

Definicija algoritma: Ukoliko postoji skup od n objekata obeleženih redom x_1, \dots, x_n , gde svaki objekat i ima težinu w_i i vrednost v_i , pri tom uzimajući u obzir da je maksimalni kapacitet W , treba odrediti:

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^n v_i x_i \right\}, \text{ tako da } \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W \text{ i da } x_i \in \{0,1\} \quad (5)$$

Algoritam problema ranca može se sprovesti prateći četiri koraka implementacije dinamičkog programiranja, gde je ključni korak rekurzija. Primenjuje se tako što se isključivo jednom rešeni potproblemi pamte u vidu

tabele. Na taj način postiže se ponovno korišćenje pomenutih međurešenja i daleko bolja efikasnost [5].

Tabela se može zamisliti kao matrica $V[0, \dots, n, 0, \dots, W]$, pri čemu važi da je $1 \leq i \leq n$ i $0 \leq w \leq W$. Početni korak popunjavanja tabele primenjuje se na sledeći način: $V[0, w] = 0$, za $0 \leq w \leq W$, nema selektovanih objekata $V[i, w] = -\infty$, za $w < 0$, nemoguće.

Rekurzivni korak primenjuje se koristeći sledeću formulu:

$$V[i, w] = \max\{V[i-1, w], v_i + V[i-1, w-w_i]\} \quad (6)$$

Prilikom popunjavanja tabele uvek se koristi prethodni red za popunjavanje narednog.

Polje od najvećeg interesa u tabeli je $V[n, W]$, jer ono sadrži maksimalnu moguću vrednost dobijenu izborom svih n objekata sa ograničenjem težine W .

- Ukoliko važi izraz $V[n, W] = V[n-1, W]$ onda objekat n nije selektovan koristi se $V[n-1, W]$
- Ukoliko važi izraz $V[n, W] \neq V[n-1, W]$ onda se zaključuje da optimalna selekcija uzima u obzir objekat n i koristi se $V[n-1, W-w_n]$

Prethodno opisani korak potrebno je sprovesti sve dok se opet ne dođe do početnog reda čime je lista odabranih objekata kompletirana.

Asimptotsko vreme izvršavanja ove metode je $O(n * W)$, gde je n broj objekata, a W maksimalni kapacitet ranca.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Baza podataka

Početni skupovi podataka korišćeni u ovom radu dobijeni su u saradnji sa kompanijom SciO [6]. U cilju prilagođenja rešavanju ovog problema date skupove podataka bilo je potrebno transformisati vršenjem pojedinih operacija. Takođe, svaki od skupova posmatra dešavanja na dve lokacije: *lokacija 0* ($W = 7000$ klipova kukuruza) i *lokacija 1* ($W = 6000$ klipova kukuruza).

1. DATASET #1: Obuhvata ulazne promenljive za model optimizacije. Sadrži identifikator sorte tj. populaciju, opseg u kom je moguća sadnja, broj jedinica stepeni rasta neophodnih za sazrevanje biljke (GDUs) u °C, kao i prinos nakon žetve.
2. DATASET #2: Sadrži broj jedinica °C koje se akumuliraju svaki dan na obe lokacije u periodu od 01.01.2009. godine do 31.12.2019. godine.
3. DATASET #3: Koristi se za prikaz rezultata modela i u njega je naknadno za svaku biljku potrebno uneti optimalan opseg sadnje. Nakon što se ovaj skup podataka popuni predstavljaće plan sadnje.

Iz razloga što je svako od skladišta potrebno popuniti maksimalnim brojem klipova svake nedelje, glavni cilj jeste doći do informacije u kojim nedeljama u godini je posmatranu biljku moguće ubrati kako bi se potom od svih mogućih biljaka za tu nedelju napravila kompozicija onih koje se najbolje uklapaju. Ideja realizacije u radu jeste kreiranje matrice čije će kolone biti nedelje u toku godine, a vrste popis svih populacija. Matrica treba da daje informaciju o opsegu nedelja u kom je moguće ubrati svaku od populacija tako što će se u tim nedeljama nalaziti vrednosti prinosa date biljke, dok će u svim ostalim biti napisana nula. Ovaj raspored žetve kreira se tako što se od

graničnih vrednosti opsega dozvoljene sadnje vrši sumiranje predviđenih toplotnih jedinica za buduću godinu (dobijeni usrednjavanjem dnevnog toplotnog prinosa za svaki isti datum iz dataset 2) koje je moguće da biljka apsorbira svaki dan sve dok suma ne bude jednaka GDUs faktoru zrenja date biljke. Sve transformacije skupova podataka vršene su u okviru alata MS Excel.

3.2. Implementacija algoritma

Implementacija algoritma realizovana je u okviru Visual Studio Code softverskog okruženja korišćenjem Python programskog jezika.

Nakon dobijenih mogućih opsega žetve svake biljke, data matrica je importovana u okruženje. Glavna ideja realizacije temelji se na primeni prilagođenog algoritma problema ranca, pri čemu su u svakoj mogućoj nedelji izabrane vrste tako da je apsolutni gubitak minimizovan.

Inicijalno je u radu razvijena jedna verzija centralnog dela koda za obe lokacije. Uveden je jedinstven skup vrednosti svake biljke. Početno, vrste su sortirane u rastućem redosledu u odnosu na broj nedelja kad je njihova žetva moguća. Ovo je izvršeno usled činjenice da ukoliko postoji više vrsta sa istim prinosom i ukoliko problem ranca izabere taj prinos kao pogodan, izabraće se ona populacija na koju algoritam prvu naiđe. Imajući to u vidu, usled izbegavanja gubitka nekih populacija, bolje je izabrati onu, koja u budućim nedeljama ima manje prostora za odabir. Takođe, implementiran je inicijalni odabir onih populacija kojima je posmatrana poslednja nedelja kad mogu biti izabrane. Kao posledica toga maksimalan kapacitet skladišta koji se prosleđuje problemu ranca umanjen je za sumu prinosa ovako izabranih populacija.

Nakon što je u okviru problema ranca dobijena lista najpogodnijih populacija u svakoj nedelji, izvršena je konkatencija listi tako što je ovoj listi dodata lista inicijalno odabranih populacija za tu nedelju. Zatim je kreirana izlazna matrica tako što je u nedelji u kojoj je populacija izabrana upisan njen prinos žetve, dok je u svim ostalim nedeljama u godini za ovu populaciju upisana vrednost 0.

Od ovako dobijenog plana žetve, plan sadnje je kreiran sumiranjem vrednosti dnevnih toplotnih prinosa od date nedelje unazad sve dok se ne dostigne vrednost GDUs faktora date populacije. Ovakvo sumiranje izvršeno je od prvog i poslednjeg dana posmatrane nedelje u godini, čime je dobijen opseg najpogodnije sadnje koji je upisan u izlazni dataset 3 (Slika 2).

Population	Planting dates	
p_67	27-Jan	31-Jan
p_68	27-Jan	31-Jan
p_61	27-Jan	31-Jan
p_59	20-Jan	23-Jan

Slika 2. Plan sadnje

Naknadno su u cilju poboljšanja rezultata izvršene određene modifikacije u kreiranju plana žetve. Modifikacije obuhvataju redukciju maksimalnog kapaciteta skladišta, promenu nedelje početka žetve kao i preraspodelu plana žetve u nedeljama sa velikim gubicima i to koristeći ponovljenu simulaciju, preraspodelu od nazad ka napred i/ili metodu ugnježdenog problema ranca.

4. REZULTATI

Kvantitativna mera pogodnosti rezultata predstavlja apsolutni gubitak broja klipova. Ukoliko je maksimalan kapacitet skladišta W , broj nedelji žetve n , a vrednost dobijena sumiranjem prinosa u svih n nedelja žetve obeležena sa c , onda je ukupan gubitak broja klipova:

$$l = |W * n - c| \quad (7)$$

Uzimajući u obzir prosečnu masu jednog klipa kukuruza od 102g [7], ukupan gubitak u kilogramima iznosi:

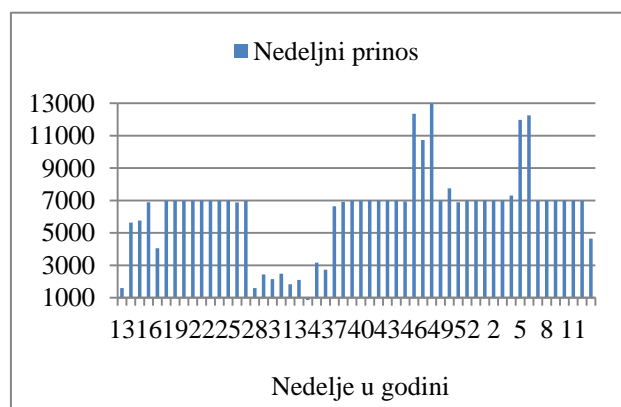
$$lm = \frac{102 * l}{1000} \quad (8)$$

4.1 Lokacija 0

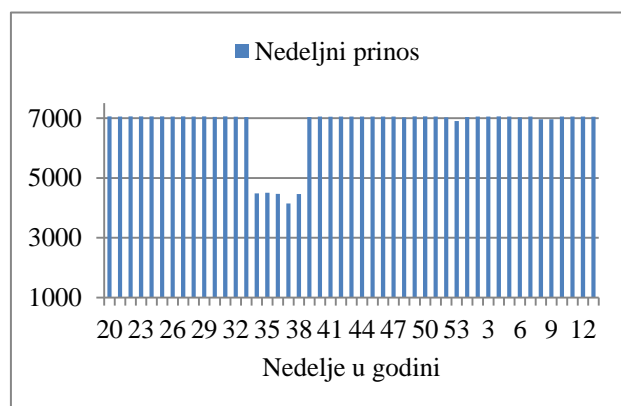
Prilikom primene osnovnog algoritma, bez poboljšanja, uočen je veoma veliki gubitak od nešto više od 3.5t na godišnjem nivou (Slika 3).

S druge strane, primenom algoritma sa svim navedenim poboljšanjima ukupan godišnji gubitak evidentiran je kao vrednost nešto veća od 1t (Slika 4).

Relativno velika vrednost gubitka evidentirana je usled nebalansiranosti fizički dozvoljenih opsega sadnje biljke što se posebno uočava u nedovoljnim prinosima žetve u nedeljama 34-40. Međutim, primenom poboljšanja gubitak je smanjen više nego trostruko.



Slika 3. Nedeljni prinos, lokacija 0, bez poboljšanja



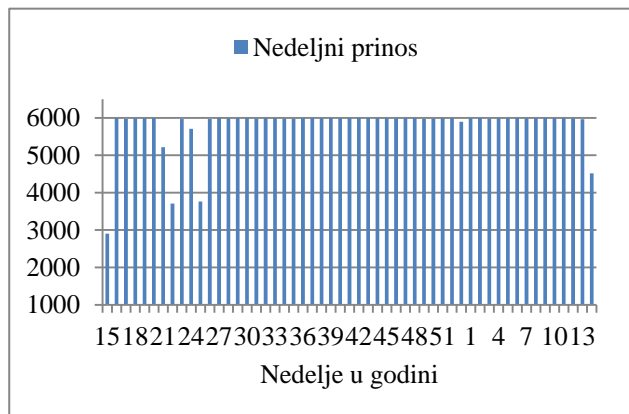
Slika 4. Nedeljni prinos, lokacija 0, sa poboljšanjima

4.1 Lokacija 1

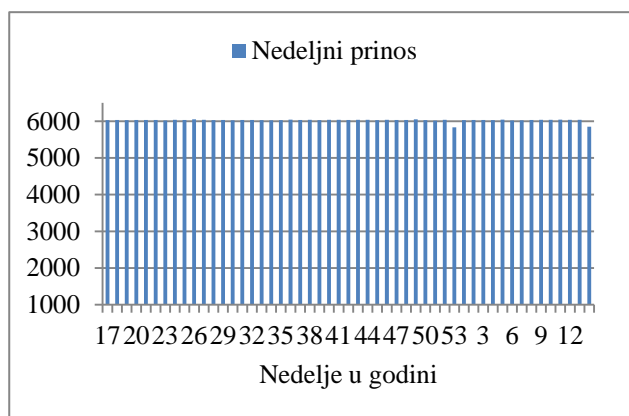
Prilikom primene osnovnog algoritma, bez poboljšanja, uočen je manji inicijalni gubitak nego na lokaciji 0 i u ovom slučaju iznosi nešto manje od 1t (Slika 5).

S druge strane, primenom algoritma sa određenim navedenim poboljšanjima ukupan godišnji gubitak evidentiran je kao vrednost od svega 136,5kg (Slika 6).

Može se evidentirati da je algoritam sa poboljšanjima dao izvanredne rezultate.



Slika 5. Nedeljni prinos, lokacija 1, bez poboljšanja



Slika 6. Nedeljni prinos, lokacija 1, sa poboljšanjima

5. ZAKLJUČAK

Globalna kriza hrane je stanje koje već vekovima predstavlja jedan od najvećih globalnih problema.

Na osnovu gore prezentovanog rada mogu se izvesti sledeći zaključci:

- U ovom radu izvršeno je pravljenje modela sposobnog da kreira optimalan plan sadnje biljaka na nekoj lokaciji, tako da su gubici minimalni.
- Kreiranjem optimalnog plana sadnje na najbolji mogući način koriste se vremenski uslovi koji su svakoj biljci potrebni za zrenje. Žetvom biljke onda kada ona dostigne potpunu zrelost maksimizuje se prinos, dok se potpunim popunjavanjem skladišta izbegavaju novčani gubici. Dodatno, pražnjenjem skladišta svakih 7 dana izbegava se gubitak mase klipova kukuruza koji je posledica skladištenja u dužem vremenskom periodu.
- Imajući u vidu da bi primenom efikasnijeg plana sadnje rasprostranjenost pojave gladi širom sveta bila umanjena, može se reći da je ovim pristupom obezbeđen doprinos eliminisanju, ili bar umanjenju efekta krize hrane.

U cilju unapređenja rada predlaže se adaptacija velikih gubitaka u pojedinim nedeljama na lokaciji 0 kreiranjem plana rentiranja preostalog prostora, čime se novčani gubici eliminišu.

Takođe, može se i unaprediti računanje prediktovanih dnevnih toplotnih prinosa uvođenjem faktora zaboravljanja.

6. LITERATURA

- [1] R. Bellman, Dynamic programming, New Jersey: Princeton University, 1957.
- [2] J. Réveillac, Optimization tools for logistics, Elsevier, 2015.
- [3] M. a. J. Z. Rapačić, Projektovanje linearnih regulatora i estimatora u prostoru stanja, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2014.
- [4] P. a. G. R. Gilmore, The theory and computation of knapsack functions, 1966.
- [5] "0/1 Knapsack problem," 6 August 2022. [Online]. Available: <https://www.guru99.com/knapsack-problem-dynamic-programming.html>. [Accessed 22 September 2022].
- [6] "SCiO Analytics," [Online]. Available: <https://scio.systems/>. [Accessed 2022].
- [7] S. D. G. H. Kimenju, "Crop loss in % of weight of stored maize," 2022.

Kratka biografija:



Milica Cvjetičanin rođena je u Novom Sadu 1998. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronika –robotika i automatizacija odbranila je 2021. godine. kontakt: milica.manmm@gmail.com