

LJUDSKA I VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U FUNKCIJI LOGISTIKE

HUMAN AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FUNCTION OF LOGISTICS

SNEŽANA TADIĆ¹
MLADEN KRSTIĆ²
MILOŠ VELJOVIĆ³
MILOVAN KOVAČ⁴

Pregledni rad
DOI: 10.5937/VI24055T

Rezime: Postoje različite oblasti i potencijali primene algoritama i alata veštačke inteligencije u logistici. Veoma širok skup alata i metodologija veštačke inteligencije je pronašao praktičnu primenu u logistici: modeli mašinskog učenja (veštačke neuronske mreže, stabla odlučivanja, clustering algoritmi itd), metaheuristički algoritmi (genetski algoritam, algoritmi zasnovanih na inteligenciji grupe, algoritmi lokalne pretrage itd) i fuzzy sistemi. Primena veštačke inteligencije je u neizbežnoj vezi sa ljudima, njihovim radom, svešću, ponašanjem i inteligencijom, ima uticaj na njihovu ulogu u logistici, ali je i u neposrednoj zavisnosti od njihovih odluka, namera, osobina itd. U ovom radu razmatrane su mogućnosti i izgledi primene nekih alata veštačke inteligencije u logistici u kontekstu interakcije sa ljudskom inteligencijom.

Ključne reči: čovek, veštačka inteligencija, logistika, primena

Abstract: There are different areas and potentials for applying artificial intelligence (AI) algorithms and tools in logistics. A wide set of AI tools and methodologies has found practical application in logistics: machine learning models (artificial neural net works, decision trees, clustering algorithms, etc.), metaheuristic algorithms (genetic

¹ Snežana Tadić, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, s.tadic@sf.bg.ac.rs, ORCID 0000-0003-4651-3699

² Mladen Krstić, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, m.krstic@sf.bg.ac.rs, ORCID 0000-0002-7937-0543

³ Miloš Veljović, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, m.veljovic@sf.bg.ac.rs, ORCID 0000-0001-8024-3296

⁴ Milovan Kovač, Institute for Scientific Information – Clarivate, 22-24 New Street St. Helier Jersey, USA, milovan.kovac@clarivate.com, ORCID 0000-0003-4525-5245

algorithm, group intelligence-based algorithms, local search algorithms, etc.), and fuzzy systems. The application of AI is inevitably related to people, their work, awareness, behavior, and intelligence, it impacts their role in logistics, but it is also directly dependent on their decisions, intentions, characteristics, etc. This paper discusses the possibilities and prospects of applying AI tools in logistics that can interact with human intelligence.

Key Words: human, artificial intelligence, logistics, application

1. Uvod

Razvoj nauke i tehnike neminovno utiče i na logistiku. Inoviraju se logistički procesi, objekti, tehnologije, pristupi. Posebnu pažnju logističari posvećuju veštačkoj inteligenciji, odnosno alatima mašinskog učenja, metaheurističkih algoritama, fuzzy sistema itd. Ove alate osmislili su i razvili ljudi i njihova inteligencija. Dakle, preduslov za primenu veštačke inteligencije jeste ljudska inteligencija. Štaviše, projektovanje i razvoj tehnologija koje počivaju na veštačkoj inteligenciji treba da budu u skladu sa stvarnim, pažljivo utvrđenim potrebama logistike i logističara, a posebno uzimajući u obzir kompleksnost, nepredvidivost i specifičnost ljudskog razmišljanja, svesti, ponašanja, osećanja itd.

Primena veštačke inteligencije u logistici privukla je značajnu pažnju istraživača. Richey et al. (2023) su sintetizovali potencijale i izazove primene veštačke inteligencije u logistici. Chen et al. (2024) su razmatrali primenu veštačke inteligencije u cilju optimizacije u logistici prema kriterijumima održivosti. U nekim radovima razmatrana je i njena upotreba u logistici u kontekstu interakcije sa ljudima (npr. Klumpp, 2018; Klumpp & Ruiner, 2022).

U ovom radu razmatrana su područja i načini primene pojedinih alata veštačke inteligencije u logistici, kao njihova interakcija sa ljudskom inteligencijom, razmišljanjem i ponašanjem.

Rad je strukturiran na sledeći način. Nakon uvoda, u drugom poglavlju je opisana primena nekih alata veštačke inteligencije u logistici. Potom su u trećem poglavlju opisani mesto i uloga čoveka u primeni veštačke inteligencije u logistici. Na kraju su data zaključna razmatranja i preporuke za buduća istraživanja.

2. Primena alata veštačke inteligencije u logistici

U nastavku su predstavljeni neki od osnovnih alata i metodologija veštačke inteligencije i istaknuto je njihovo potencijalno područje primene u logistici. Posebna pažnja biće posvećena alatima mašinskog učenja, metaheurističkim algoritmima i fuzzy sistemima.

Mašinsko učenje

Mašinsko učenje se odnosi na skup alata u oblasti veštačke inteligencije koji omogućavaju učenje šablona i predviđanje na osnovu raspoloživih skupova podataka. U zavisnosti na koji način model sprovodi učenje iz podataka, alate mašinskog učenja je moguće klasifikovati na one koji se treniraju nadgledanim podučavanjem (engl. supervised learning), bez nadgledanog podučavanja (engl. unsupervised learning) i prisilnim podučavanjem (engl. reinforcement learning). Neki od najpopularnijih alata mašinskog učenja su neuronske mreže, support vector machines (SVM) (engl.), stabla odlučivanja (engl. decision trees), clustering (engl.) algoritmi (poput K-means, DBSCAN itd.), principal component analysis (PCA) (engl.) itd.

Neuronske mreže omogućavaju pronalaženje i analizu složenih zakonitosti iz zadatog skupa podataka. U radu (Soori et al., 2023) je dat pregled potencijalnih područja primene veštačkih neuronskih mreža u lancu snabdevanja. U logistici su pronašle primenu u predviđanju potražnje (Chen et al., 2020; Huang et al., 2021; Ma & Luo, 2021; Han & Wang, 2021), optimizaciji dostavnih ruta (Swaminathan et al., 2021; Ding et al, 2024), planiranju zaliha (He, 2013), predviđanju rizika (Xu et al., 2014), dizajniranju saobraćajno-logističkih mreža (Wang & Long, 2012), izboru lokacije logističkih objekata (Huang, 2012; Kaya & Öztürk 2017) itd. Kako bi rešio problem uticaja oštećenja tereta i emisije ugljenika iz vozila na rutiranje u prekograničnoj logistici e-trgovine poljoprivrednim proizvodima, Teng (2021) je predložio metodu planiranja optimalne rute zasnovanu na rekurentnoj neuronskoj mreži, koja se efikasno odupire uticaju eksternih faktora. Ovaj alat našao je primenu i u skladišnom podsistemu. Kako bi viljuškari bez posade imali mogućnost prepoznavanja i lociranja palete u logističkim centrima i skladištima, predložen je algoritam detekcije zasnovan na dubokom učenju, odnosno neuronskoj mreži (Li et al, 2019).

SVM algoritmi su modeli učenja sa podučavanjem koji pronalaze optimalnu hiper-ravan (engl. hyperplane) koja svrsishodno razdvaja različite klase u okviru posmatrane populacije (skupa podataka) maksimizirajući margin između njih. Modeli zasnovani na SVM su efikasni za klasifikaciju, posebno kada su podaci složeni i višedimenzionalni. Neki od primera primene SVM u logistici su u domenu predviđanja potražnje (Gao & Feng, 2009), odabiru ruta vozila (Sun & Park, 2017), uočavanju defekata u podsistemu pakovanja (Yang et al, 2020), proceni rizika u logistici svežeg voća i povrća (Zhang et al, 2020) itd.

Decision trees modeli na osnovu karakteristika ulaznih podataka vrše konstrukciju najjednostavnijeg stabla odlučivanja koje dovoljno dobro generalizuje pravila i razlike između različitih kategorija. Ovi algoritmi definišu grane stabla na osnovu karakteristika podataka u cilju efikasnog predviđanja ili klasifikacija.

Neki od primera primene ovih algoritama su u domenu planiranja pretovara (Aguilar-Chinea et al, 2019), utvrđivanju gravitacione zone pomorskih kontejnerskih terminala (Thill & Venkitasubramanian, 2015), proceni složenosti logističkih lanaca za pojedine robne tokove (Pourabdollahi et al., 2014), proceni finansijskog rizika u logističkim projektima (Dong et al, 2024) itd.

Ova grupa algoritama je veoma popularna u rešavanju bilo koje vrste klasifikacionih problema. Spadaju u grupu algoritama koji uče bez nadgledanja. U postojećoj literaturi su korišćeni u segmentaciji tržišta (Vichev, 2023), lociranju logističkih centara (Gocer & Sener, 2021), zoniranju u city logistici (Regal et al, 2019).

PCA je tehnika smanjenja dimenzionalnosti visokodimenzionalnog skupa podataka. Osnovna ideja ove tehnike je da identifikacija najbitnijih parametara koji opisuju posmatrani skup podataka. Kao takva našla je široku primenu u logistici u domenu faktorske analize logističkih projekata (Ji & Zhao, 2012), lociranju logističkih centara (Wang & Zhao, 2010), uočavanju potencijalnih rizika i nepravilnosti u lancima snabdevanja (Wang et al, 2020), oceni performansi pružaoca logističkih usluga (Guo & Zhang, 2010), itd.

Metaheuristički algoritmi

Metaheuristički algoritmi predstavljaju opšte heuristike koje se koriste za rešavanje problema kombinatorne optimizacije (Teodorović & Šelmić, 2019). Za razliku od heuristika koje su prilagođene specifičnim problemima i mogu se koristiti samo za rešavanje tih kojima su namenjene, metaheuristički algoritmi su uopštenije prirode i nisu vezani sa pojedinačne vrste problema. Oni predstavljaju efikasne i pametne strategije pretraživanja polja dopustivih rešenja posmatranog problema i osnovni cilj im je da nadmaše heuristike po pitanju kvaliteta rešenja a egzaktnu pristupe po brzini rešavanja istog.

Postoje brojne grupe i podele metaheurističkih algoritama a neke od najzastupljenijih su evolutivni algoritmi, algoritmi zasnovani na inteligenciji grupe i algoritmi lokalne pretrage. Osim pomenutih, postoje i brojni hibridni modeli koji kombinuju ideje više različitih metaheuristika.

Od evolutivnih algoritama najpopularniji su genetski algoritmi. Oni predstavljaju optimizacione tehnike koje oponašaju proces prirodne selekcije. Od početne populacije potencijalnih rešenja se primenom različitih operatora (crossover i mutacije) „evoluiraju“ do optimalnog ili približno-optimalnog rešenja. Najširu primenu u logistici genetski algoritmi su našli u oblasti rutiranja vozila (Xin et al, 2022; Cui et al, 2023). Osim toga, primenjivani su i u optimizaciji logističkih mreža (Roghianian & Pazhoheshfar, 2014; Min et al, 2006), za lokacijske i lokacijsko-alokacijske probleme (Izdebski et al. 2016; Feng et al, 2013)

Algoritmi zasnovani na inteligenciji grupe oponašaju kolektivno ponašanje koje se sreće u prirodi kod pojedinih grupa organizama sa ciljem rešavanja složenih kombinatornih problema. Neki od najpopularnijih metaheurističkih algoritama iz ove grupe su optimizacija kolonijom mrava (engl. ant colony optimization), optimizacija kolonijom pčela (engl. bee colony optimization), optimizacija grupom čestica (engl. particle swarm optimization). Algoritmi iz ove grupe imaju izuzetno široku primenu a neki od primera su u domenu optimizacije dostavnih ruta (Liu, 2020), planiranju ruta u humanitarnoj logistici (Yi & Kumar, 2007), modeliranju logističkih mreža (Kovač et al. 2023), izbor lokacije logističkih centara (Ayid et al, 2024), izboru multimodalnih lanaca (Zheng et al, 2022) itd.

Algoritmi lokalne pretrage su po prirodi jednostavni i osnovna ideja im je da prostim operatorima pretrage zaobilaze lokalne optimume u kojima se heuristički algoritmi lako zarobljavaju. Najpoznatiji predstavnici iz ove grupe su simulirano kaljenje (engl. simulated annealing) i tabu pretraga (engl. taboo search). Algoritmi iz ove grupe su pronašli primenu u rutiranju vozila (Hongxue & Lingling, 2014), planiranju mreža povratne logistike (Pishvae et al., 2010), raspoređivanju radnika u logističkom centru (Xu et al, 2024), optimizaciji procesa komisioniranja (Wu & Wu, 2014), optimizaciji iskorišćavanja prostora u kontejnerima (Leon et al., 2019), za rešavanje p-median problema (Tadić et al, 2023) itd.

Fuzzy sistemi

Fuzzy sistemi su veoma primenjivi u logistici i lancima snabdevanja. Korišćeni su za lociranje VAL usluga u logističkoj mreži (Tadić et al, 2022), uzimajući u obzir vreme odgovora na zahtev korisnika, ekonomiju obima i frekvenciju isporuke, stabilnost i predvidivost potražnje, životni ciklus i maržu proizvoda, udeo transportnih u ukupnim troškovima itd. Takođe, korišćeni su za utvrđivanje vremena isporuke (Tadić et al, 2021), ocenu rizika u pomorskom transportu (Li et al., 2013), evaluaciju logističkih provajdera (Liu & Wang, 2009), evaluaciju performansi zelenog lanca snabdevanja (Pourjavad & Shahin, 2018). Fuzzy sistemi se koriste i za utvrđivanje kvaliteta logističke usluge (Kilibarda, 1998; Tadić et al, 2024a). Fuzzy sistemi su primenjivani i u kombinaciji sa drugim alatima veštačke inteligencije. Tako, Pamučar et al, (2013) su definisali neuro-fuzzy sistem za podršku odlučivanju u transportu.

3. Čovek i veštačka inteligencija u logistici

Pesnik Dragan Lakićević postavio je pitanje koje se može smatrati jednim od ključnih u vezi sa aktuelnim tehnološkim napretkom i veštačkom inteligencijom kao jednim od njegovih nosilaca: „Da li će veštačka inteligencija umeti da peva kao što smo mi pevali o njoj?“ Ovo pitanje je aluzija na stihove Branka Miljkovića,

„Da li će sloboda umeti da peva kao što su sužnji pevali o njoj?“. Miljković se pitao da li je čovek sposoban da oseti punoću slobode onda kada mu postane dostupna ili samo onda kada o njoj čežljivo sanja. Lakićević se po uzoru na „brata po peru“, a zaokupljen pitanjima naše sadašnjosti i bliske budućnosti, zapitao da li će stvarnost dopunjena novim tehnološkim rešenjima zaista biti onakva kakva je bila i ostala u mašti mnogih naraštaja, i da li će i koliko veštačka inteligencija ličiti na ljudsku. Na ta pitanja, mogu se nadovezati i ova: može li, treba li i sme li nova tehnologija da funkcioniše bez čoveka? I može li čovek bez nove tehnologije? Najzad, i logističari postavljaju pitanja: kakav je i kakav će biti uticaj veštačke inteligencije i drugih pametnih tehnologija na logistiku, da li se njihovom primenom može doći do pametne logistike, da li će biti ispunjena očekivanja logističara od primene tehnologija, da li logističar može bez modernih tehnologija i da li one mogu bez čoveka u logistici?

Nije slučajno što je i sam pojam veštačka inteligencija skovan tako da ukazuje da se radi o tehnologiji koja oponaša čovekovo razmišljanje i ponašanje. Dakle, čovek je „mera svih stvari“ i u tvorenju jezika, i to možda upravo zato što su i ciljevi primene veštačke inteligencije usmereni na čoveka, njegovo okruženje i aktivnosti (Tadić et al, 2024). Na isti način su kreirani i pojmovi uže (veštački imuni sistemi, veštačke neuronske mreže), ali i šire obuhvatnosti, kao što su pametne tehnologije, pametni gradovi, pametna logistika itd.

Izraz „pametni“ ukazuje da entiteti koje opisuje imaju sposobnost inteligentne, efikasne i svrsishodne realizacije različitih procesa, i njime se, kroz projektovanje naprednih ljudskih kognitivnih osobina, vrši svojevrsna personifikacija tih entiteta (Tadić et al, 2024). Veštačka inteligencija je neodvojiva od ljudske. Ljudi neminovno učestvuju u njenom projektovanju i kreiranju, prema svojoj meri, potrebama i zahtevima. I ne samo da čovek može i treba da bude uzor i etalon za projektovanje tehnologije, nego i čitava priroda. Jedan od najčvršćih i najpostojanijih tipova građevinskih konstrukcija, kakve se koriste i pri gradnji logističkih objekata, jesu sistemi rešetki rađeni po uzoru na paukove mreže. Alati kao što su optimizacija kolonijom mrava, optimizacija kolonijom pčela, inteligencija roja, jata i krda takođe predstavljaju „učenje iz primera dobre prakse“ koji postoje u prirodi.

U logistici, kao i drugim oblastima primene veštačke inteligencije, cilj je pažljivo i sveobuhvatno sagledati kakve su karakteristike procesa i aktivnosti, kakvo je mesto i uloga ljudi u njima, koji su rizici itd. Potom se u skladu sa tim različitim aspektima osmišljavaju i definišu i tehnološka rešenja. Rešenja veštačke inteligencije ne treba da budu kruto ustrojena. Na primer, alat veštačke inteligencije kojim se određuje vreme zadržavanja prilikom isporuke robe objektima u naseljenoj sredini svakako mora uzeti u obzir osnovne ulaze kao što

su veličina isporuke, struktura robe, udaljenost istovarnog mesta, broj radnika/manipulativnih sredstava, kompleksnost istovara robe itd. (Tadić et al, 2021). Ipak, zbog dinamičnosti i nedovoljne predvidivosti u logističkim operacijama, naročito u vezi sa ljudskim odlukama, nije moguće uvek i u potpunosti precizno odrediti vreme trajanja isporuke na osnovu ovih faktora. Mora se uzeti u obzir da postoji mogućnost predvidivih (ljudski faktor, faktori okruženja itd), ali i nepredvidivih odstupanja, koja pri javljanju može da percipira još uvek samo čovek. Drugim rečima, treba veštačku inteligenciju dodatno „očovečiti“, ali i nakon toga ne očekivati da ona u potpunosti zamenjuje čoveka, nego da mu bude vrlo korisno pomoćno sredstvo.

S druge strane, postoji opasnost od inercije i nekritičnosti u prihvatanju rezultata rada tehnologija, naročito onih koje pružaju podršku odlučivanju. „Prepuštanjem“ dela odlučivanja tehnologijama kao što je veštačka inteligencija smanjuju se potrebe za znanjem ljudi. Pozitivna strana ovakvog ishoda svakako jeste „oslobađanje“ vremena ljudi za druge operacije, unapređenje i optimizaciju u drugim oblastima itd. Ipak, iako „obučene“ od strane jedne grupe ili generacije ljudi, koja je svojim znanjem omogućila efikasan rad tehnologija, druge grupe ili naredne generacije ljudi nemaju potrebu celovitog sagledavanja svih znanja koja konstituišu tehnologije i njihov rad.

Rizici se ne odnose samo na situaciju „iznenadnog nestanka struje“, koja se često navodi kao primer neprilike koja bi dovela do kolapsa mnogih sistema. Iako i ovakve situacije treba ozbiljno razmotriti pri projektovanju sistema i procesa, ovo nije jedini, a verovatno ni glavni rizik. Jedan od osnovnih rizika je nemogućnost svrsishodne ljudske intervencije pri potrebi za modifikovanjem, dograđivanjem, podešavanjem tehnologija u uslovima stalnih promena i pojave neočekivanih situacija. Upravo iz ovih razloga, u logističkoj praksi retko postoje tipska softverska rešenja, koja se ne moraju pratiti i unapređivati tokom primene.

Veštačka inteligencija i druge pametne tehnologije nesumnjivo imaju značaj i veliki potencijal primene u logistici. Deo stručnjaka smatra da će tehnologije poput napredne robotike potpuno zameniti ljude u logističkim centrima, dok drugi smatraju da će ljudi i tehnologije radne zadatke obavljati zajedno (Parham & Tamminga, 2018). U svakom slučaju, izbor i primena tehnologija ne treba da budu olako shvaćeni i zasnovani samo na estetskim i marketiško-promotivnim kriterijumima, već moraju biti predmet dublje analize (ekonomske, bezbednosne, etičke, sociološke, psihološke itd.) (Veljović et al, 2024). Ukoliko kompanije ne bi procenjivale sve tehnologije prema svim značajnim kriterijumima, njihovo ulaganje u iste bi moglo biti uzaludno, nesvrsishodno i ekonomski destruktivno, a primenjene tehnologije umesto instrumenta za unapređenje

efikasnosti sistema - beskorisna inovacija, potrošena pokretačka energija i volja za kvalitetnim promenama itd.

Znanje o novim tehnologijama moraće biti šire rasprostranjeno i ukorenjeno među logističarima, a ne pripadati samo uskom krugu ljudi. U suprotnom, postojaće malobrojni „gospodari tehnologije“, koji njome mogu upravljati u potpunosti, dok će ostali biti „sluge tehnologije“, njeni puki korisnici, koji je ne poznaju dovoljno. Paralelno, potrebno je izgraditi svest o neophodnosti dobronamerne upotrebe i razvoja tehnologija. Tehnologiju uspostavlja čovek da bi mu služila i njegova pamet treba da upravlja njome. U suprotnom, u rukama ljudske nepromišljenosti, neinteligencije, nemarnosti ili zlonamernosti, ona može biti vrlo rđav instrument. Zbog toga je ljudska inteligencija preduslov za primenu veštačke inteligencije, ljudska pamet preduslov za primenu pametnih tehnologija, a njihova sinergija je najbolje rešenje u svim oblastima, pa i u logistici.

Odgovor autora na pitanje koje postavljaju i logističari i drugi koji razmatraju primenu novih tehnologija: „Može li tehnologija bez čoveka?“, bio bi, dakle: „ne“, a odgovor na pitanje: „Može li čovek bez nove tehnologije“ je: „Može, ali sa njom može biti lepše i lakše.“ U odgovaranju na ostala pitanja postavljena na početku ovog poglavlja, koja se tiču primene veštačke inteligencije i drugih tehnologija u logistici, može biti korisna misao još jednog pesnika, Viljema Šekspira: „Život nije ni bolji ni gori od naših snova. Samo potpuno drugačiji.“ Imajući u vidu istorijska iskustva razvoja i primene različitih izuma, inovacija, tehnologija, verovatno je da naša stvarnost i logistika sa veštačkom inteligencijom i drugim pametnim tehnologijama verovatno neće biti ni bolje ni gore (ili suprotno, verovatno će biti i bolje i gore) od naših snova, želja i planova, ali izvesno će biti drugačije od njih. Ali je zadatak logističara da svoju inteligenciju, znanja i trud ulože tako da primena tehnologija donese što je moguće više istinski pozitivnih efekata.

4. Zaključak

Veštačka inteligencija ima sve širu i raznovrsniju primenu u logističkim procesima, aktivnostima i podsistemima. Alati veštačke inteligencije koriste se za predviđanje, prognoziranje potražnje, zaliha i rizika, optimizaciju saobraćajno-logističkih mreža, planiranje i optimizaciju rutiranja, lokacijske i alokacijske probleme itd. Međutim, u projektovanju i razvoju ovih i sličnih alata i tehnologija neizostavno treba uzeti u obzir različite ekonomske, bezbednosne, etičke, sociološke, psihološke aspekte, kako bi one istinski bile po meri čoveka i logistike. U tom slučaju, one mogu doneti ciljani rezultat, a to je da budu korisna pomoćna ili sredstva koja zamenjuju čoveka u nekim poslovima, uz njegovu asistenciju, upravljanje, nadzor i/ili podešavanje prema potrebama procesa.

U ovom radu prikazane su oblasti primene pojedinih alata veštačke inteligencije u logistici, kao i mogućnosti i perspektive njihove primene u kontekstu interakcije sa ljudskom inteligencijom i ponašanjem. Time je ostvaren osnovni cilj i doprinos rada. Predmet budućih istraživanja može biti analiza primene alata veštačke inteligencije u pojedinim oblastima (npr. city logistika, isporuka na kućnu adresu, humanitarna logistika itd) ili podsistemima logistike (transport, skladištenje itd).

5. Literatura

- [1] Aguilar-Chinea R. M, Rodriguez I. C, Exposito C, Melian-Batista B. & Moreno-Vega J. M. Using a decision tree algorithm to predict the robustness of a transshipment schedule. *Procedia Computer Science*, 149, 529-536, 2019.
- [2] Ayid Y. M, Zakaraia. & Eltoukhy M. M. An artificial bee colony optimization algorithms for solving fuzzy capacitated logistic distribution center problem. *MethodsX*, 13, 102964, 2024.
- [3] Chen Y, Wu Q. & Shao L. Urban cold-chain logistics demand predicting model based on improved neural network model. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 11, 5, 2020.
- [4] Chen W, Men Y, Fuster N, Osorio C, & Juan A. A. Artificial Intelligence in Logistics Optimization with Sustainable Criteria: A Review. *Sustainability*, 16(21), 9145, 2024.
- [5] Cui H, Qiu J, Cao J, Guo M, Chen X. & Gorbachev S. Route optimization in township logistics distribution considering customer satisfaction based on adaptive genetic algorithm. *Mathematics and Computers in Simulation*, 204, 28-42, 2023.
- [6] Ding M, Guo Y, Huang Z, Lin B. & Luo H. GROM: A generalized routing optimization method with graph neural network and deep reinforcement learning. *Journal of Network and Computer Applications*, 229, 103927, 2024.
- [7] Dong D, Lin B. & Dong X. Logistics financial risk assessment based on decision tree algorithm model. *Procedia Computer Science*, 243, 1095-1104, 2024.
- [8] Feng X, Zhang Y, Li Y. & Wang W. A Location-Allocation Model for Seaport-Dry Port System Optimization. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2013(1), 309585, 2013.
- [9] Gao M. & Feng Q. Modeling and Forecasting of Urban Logistics Demand Based on Support Vector Machine. *Proceedings of the 2009 Second Inter-*

- national Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining, Moscow, Russia, 23–25 January 2009, pp. 793–796, 2009.
- [10] Gocer F. & Sener N. Spherical fuzzy extension of AHP-ARAS methods integrated with modified k-means clustering for logistics hub location problem. *Expert Systems*, 39(2), e12886, 2021.
 - [11] Guo Z. & Zhang Y. The third-party logistics performance evaluation based on the AHP-PCA model. In Proceedings of the 2010 *International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment*, Henan, China, 2010, pp. 1-4, 2010.
 - [12] Han C. & Wang Q. Research on commercial logistics inventory forecasting system based on neural network. *Neural Computing and Applications*, 33, 691-706, 2021.
 - [13] He, W. An inventory controlled supply chain model based on improved BP neural network. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2013, 537675, 2013.
 - [14] Hongxue Y. & Lingling X. Routing optimization based on taboo search algorithm for logistic distribution. *Journal of Networks*, 9(4), 1033-1039, 2014.
 - [15] Huang L. Modeling and Planning on Urban Logistics Park Location Selection Based on the Artificial Neural Network. *Journal of Computers*, 7(3), 792-797, 2012.
 - [16] Huang L, Xie G, Zhao W, Gu Y. & Huang Y. Regional logistics demand forecasting: a BP neural network approach. *Complex & Intelligent Systems*, 1-16, 2021.
 - [17] Izdebski M Jacyna-Golda, I. & Wasiak M. The application of genetic algorithm for warehouse location in logistic network. *Journal of KONES*, 23, 2016.
 - [18] Ji S. W. & Zhao L. S. Key factors analysis of port logistics development based on Principal Component Analysis. *Applied Mechanics and Materials*, 253-255, 1522-1526, 2012.
 - [19] Kaya B. & Öztürk N. An artificial neural network approach for the logistics center location selection. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 4(2), 107-115, 2017.
 - [20] Klumpp, M. Automation and artificial intelligence in business logistics systems: human reactions and collaboration requirements. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(3), 224-242, 2018.
 - [21] Klumpp M. & Ruiner C. Artificial intelligence, robotics, and logistics employment: The human factor in digital logistics. *Journal of Business Logistics*, 43(3), 2022.

- [22] Kovač M, Tadić S, Krstić M. & Roso V. Modelling dry port systems in the framework of inland waterway container terminals. *CMES – Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 137(1), 1019-1046, 2023.
- [23] Leon P, Cueva R, Tupia M. & Dias G. P. *A taboo-search algorithm for 3D binpacking problem in containers. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 930, Springer, Cham, 2019.
- [24] Li T, Huang B, Li C. & Huang M. Application of convolution neural network object detection algorithm in logistics warehouse. *The Journal of Engineering*, 2019(23), 9053-9058, 2019.
- [25] Lin L, Gen M. & Wang X. A hybrid genetic algorithm for logistics network design with flexible multistage model. *International Journal of Information Systems for Logistics and Management*, 3(1), 1-12, 2007.
- [26] Liu, W. Route optimization for last-mile distribution of rural E-commerce logistics based on Ant Colony Optimization. *IEEE Access*, 8, 12179-12187, 2020.
- [27] Liu H, Zhan P. & Zhou M. Optimization of a logistics transportation network based on a genetic algorithm. *Mobile Information Systems*, 2022(1), 1271488, 2022.
- [28] Ma H. & Luo X. Logistics demand forecasting model based on improved neural network algorithm. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(4), 6385-6395, 2021.
- [29] Min H, Ko H. J. & Ko C. S. A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*, 34(1), 56-69, 2006.
- [30] Pamučar D, Lukovac V. & Pejčić-Tarle S. Application of adaptive neuro fuzzy inference system in the process of transportation support. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 30(02), 1250053, 2013.
- [31] Parham S, Tamminga H. J. The adaptation of the logistic industry to the fourth industrial revolution: The role of human resource management. *Journal of Business Management & Social Science Research*, 7, 179–191, 2018.
- [32] Pishvaei M. S, Kianfar K. & Karimi B. Reverse logistics network design using simulated annealing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 269-281, 2010.
- [33] Pourabdollahi Z, Karimi B Mohammadian, A. K. & Kawamura, K. Shipping chain choices in long-distance supply chains: Descriptive analysis and decision tree model. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, 2410(1), 58-66, 2014.

- [34] Pourjavad E. & Shahin A. The application of Mamdani fuzzy inference system in evaluating green supply chain management performance. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20, 901-912, 2018.
- [35] Regal A, Gonzalez-Feliu J, Rodriguez M. & Juganaru-Mathieu M. Defining urban logistics profile zones in South American metropolis by combining functional and spatial clustering techniques. Proceedings of the 2019 *International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)*, Grenoble, France, 2019, pp. 1-6, 2019.
- [36] Richey Jr, R. G, Chowdhury S, Davis-Sramek B, Giannakis M. & Dwivedi Y. K. Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532-549, 2023.
- [37] Roghanian E. & Pazhoheshfar P. An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(3), 348-356, 2014.
- [38] Soori M, Arezoo B. & Dastres R. Artificial neural networks in supply chain management, a review. *Journal of Economy and Technology*, 1, 179-196, 2023.
- [39] Sun B, & Park B. B. *Route choice modelling with Support Vector Machine. Transportation Research Procedia*, 25, 1806-1814, 2017.
- [40] Swaminathan A, Chaba M, Sharma D. K. & Ghosh U. GraphNET: Graph neural networks for routing optimization in software defined networks. *Computer Communications*, 178, 169-182, 2021.
- [41] Tadić S, Krstić M, Stević Ž. & Veljović M. Locating Collection and Delivery Points Using the p-Median Location Problem. *Logistics*, 7(1), 10, 2023.
- [42] Tadić S, Kilibarda M. & Veljović M. The Impact of Rail Transport Service Quality on Intermodal Transport Quality: a Model for Evaluation. *Tehnika* 79(5), 635-642, 2024a.
- [43] Tadić S, Krstić M. & Veljović M. Logistics of smart cities, Proceedings of the *3rd International Conference on Advances in Traffic and Communication Technologies AI Crossroads: Shaping the Future of Traffic and Communications*, ATCT 2024, Sarajevo, BiH, 6 - 7. 6. 2024, (In press), 2024b
- [44] Teng S. Route planning method for cross-border e-commerce logistics of agricultural products based on recurrent neural network. *Soft Computing*, 25(18), 12107-12116, 2021.
- [45] Teodorović D. & Šelmić M. *Computer intelligence in traffic*. University of Belgrade, Faculty of Transport & Traffic Engineering, 2019.

- [46] Thill J. C. & Venkitasubramanian K. Multi-layered hinterland classification of Indian ports of containerized cargoes using GIS visualization and decision tree analysis. *Maritime Economics & Logistics*, 17, 265-291, 2015.
- [47] Veljović M, Tadić S. & Krstić M. Last Word in Last-Mile Logistics: A Novel Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Model for Ranking Industry 4.0 Technologies. *Mathematics*, 12(13), 2010, 2024.
- [48] Vichev S. Application of K-means clustering algorithm with RFM for customer segmentation in logistics sector. *Vanguard Scientific Instruments in Management*, 1, 199-211, 2023.
- [49] Wang W. & Zhao Q. Studies on supply logistics distribution center location based on principal component analysis for coal enterprise, Proceedings of the 2010 *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management (ICLSIM)*, Harbin, China, pp. 212-215, 2010.
- [50] Wang D. Z. & Lang M. X. An Artificial Neural Network-Based Method for Railway Logistics Network Design. In *Advanced Engineering Forum* (Vol. 6, pp. 924-931). Trans Tech Publications Ltd, 2012.
- [51] Wang J, Swartz C. L. E, Corbett B. & Huang K. Supply chain monitoring using principal component analysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(27), 12487–12503, 2020.
- [52] Wu Y. & Wu Y. Taboo search algorithm for item assignment in synchronized zone automated order picking system. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 27, 860-866, 2014.
- [53] Xin L, Xu P. & Manyi G. Logistics distribution route optimization based on genetic algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 8468438, 2022.
- [54] Xu W, Zhang Z, Gong D. & Guan X. Neural network model for the risk prediction in cold chain logistics. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 9(8), 111-124, 2014.
- [55] Xu J, Wu H, Cheng Y, Wang L, Yang X, Fu X. & Su Y. Optimization of Worker Scheduling at Logistics Depots Using Genetic Algorithms and Simulated Annealing. arXiv preprint arXiv:2405.11729, 2024.
- [56] Yang X, Han M, TangH., Li Q. & Luo X. Detecting defects with Support Vector Machine in logistics packaging boxes for edge computing. *IEEE Access*, 8, 64002-64010, 2020.
- [57] Yang D. & Wu P. E-Commerce Logistics Path Optimization Based on a Hybrid Genetic Algorithm. *Complexity*, 2021(1), 5591811, 2021.
- [58] Yi W. & Kumar A. Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660-672, 2007.

- [59] Zhang G, Li G. & Peng J. Risk assessment and monitoring of green logistics for fresh produce based on a Support Vector Machine. *Sustainability*, 12(18), 7569, 2020.
- [60] Zhao J, Xiang H, Li J, Liu J. & Guo L. Research on logistics distribution route based on multi-objective sorting genetic algorithm. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 29(07n08), 2040020, 2020.
- [61] Zheng C, Sun K, Gu Y, Shen J. & Du M. Multimodal transport path selection of cold chain logistics based on improved particle swarm optimization algorithm. *Journal of Advanced Transportation*, 2022(1), 5458760, 2022.