

Primjena vještačke inteligencije za optimizaciju efikasnosti sistema zračnog saobraćaja

DR. SC. EDVIN ŠIMIĆ, UNIVERZITET U SARAJEVU, FAKULTET ZA SAOBRAĆAJ I KOMUNIKACIJE

PROF. DR. MUHAREM ŠABIĆ, UNIVERZITET U SARAJEVU, FAKULTET ZA SAOBRAĆAJ I KOMUNIKACIJE

Uvod

Upotreba vještačke inteligencije (AI) predstavlja jedan od najznačajnijih savremenih pravaca razvoja sistema zračnog saobraćaja s ciljem povećanja efikasnosti, sigurnosti i održivosti operacija. Primjena AI tehnologija omogućava napredniju analizu velikih količina podataka, preciznije prognoziranje potražnje i opterećenja sistema, optimizaciju korištenja zračnog prostora i infrastrukture, kao i podršku u donošenju operativnih odluka. Kroz alate za predikciju konflikata, upravljanje protokom saobraćaja, optimizaciju ruta i raspodjelu resursa, AI može značajno doprinijeti smanjenju kašnjenja, povećanju kapaciteta te smanjenju negativnog utjecaja na okoliš.

Iako potencijal AI-ja još uvijek nije u potpunosti iskorišten u evropskom zrakoplovstvu, postojeći primjeri primjene ostaju ograničenog dometa. Kako bi se unaprijedilo razumijevanje i ubrzalo uvođenje AI rješenja, različite organizacije koje se bave upravljanjem zračnog saobraćaja počele su osnivati odjele za istraživanje i upotrebu AI rješenja. Jedan od primjera je EUROCONTROL koji je zajedno s Evropskom komisijom i partnerima osnovao Evropsku visokorangiranu grupu za AI u zrakoplovstvu.

Iako postoji značajan iskorak u istraživanju AI, jedna od osnovnih prepreka za masovniju implementaciju jeste što zrakoplovstvo zahtijeva izuzetno visok nivo pouzdanosti, sigurnosti i certifikacije sistema. Svaka nova tehnologija mora proći rigorozne procese verifikacije, validacije i regulatornog odobranja prije operativne primjene. Zbog toga će implementacija AI rješenja u realnom operativnom okruženju biti znatno sporija u odnosu na druge oblasti. Uprkos tome, dugoročni potencijal AI-ja u transformaciji sistema zračnog saobraćaja ostaje izuzetno velik, što ovu oblast čini jednim od ključnih pravaca budućeg razvoja zrakoplovstva.

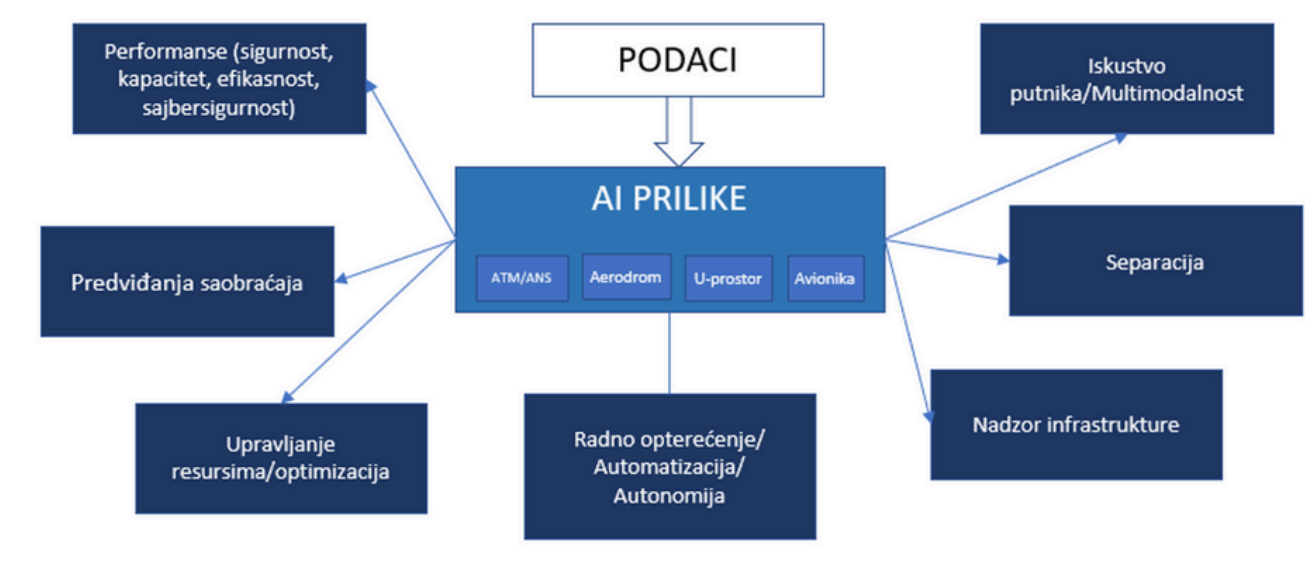
Ključna područja razvoja vještačke inteligencije u zrakoplovstvu

U zrakoplovstvu postoji široka primjena AI alata, međutim pregledom literature (Tabela 2) ustanovljeno je da većina ovih alata i dalje nema široku primjenu u stvarnim operacijama zbog problema i rizika koje ćemo navesti u poglavlju 3. Trenuno najveći broj akademskih radova se bavi upotrebom AI alata za predikciju sistema i cilju efikasnijeg upravljanja i alokacije resursa.

Sektor zrakoplovstva zauzima vrlo dobru poziciju po pitanju mogućnosti upotrebe vještačke inteligencije, posebno algoritama mašinskog učenja. Zrakoplovstvo je vrlo kompleksna grana privrede te sadrži veliki broj međusobno povezanih elemenata, samim tim i veliki broj informacija koje trebaju biti obrađene u vrlo kratkom vremenskom intervalu. Jedna od osnovnih oblasti koje bi AI podržavao jeste i osnova svake zrakoplovne operacije, a to je sigurnost letачkih operacija. Algoritmi mašinskog učenja i AI će smanjiti ljudsko opterećenje i povećati sigurnost i protočnost zračnog saobraćaja.

Uvođenjem bespilotnih sistema dodatno se usložnjava upotreba zračnog prostora što će omogućiti upotrebu AI-a u kreiranju dinamičkih prostora gdje će svi moći bezbjedno koristiti zračni prostor. Jedan od problema upotrebe umjetne inteligencije jeste pouzdanost, kontinuitet i tačnost takvih sistema. Zrakoplovstvo je oslonjeno na pouzdanu tehnologiju, a ne inovativnu, jer posljedice grešaka inovativnih tehnologija nisu tolerantne prilikom obavljanja zračnih operacija.

Kao što prikazuje slika 1., AI/ mašinsko učenje (ML) već pridonose širokom spektru vrijednosti i mogućnosti u zrakoplovnoj/ATM industriji.



Slika 1. Ključna područja razvoja vještačke inteligencije u zrakoplovstvu

Digitalna transformacija je srž evropskog master plana. Nedavno objavljeni izvještaj „Digitalno Evropsko nebo“ ima za cilj korištenje najnovijih tehnologija za transformaciju evropske zrakoplovne infrastrukture, što će omogućiti sigurno i efikasno upravljanje budućim rastom zračnog saobraćaja, uz smanjenje utjecaja na okoliš. Središnji dio navedene digitalne transformacije su povećani nivoi automatizacije, cyber-sigurnosti, dijeljenje podataka i povezanost. AI će također omogućiti virtualizaciju infrastrukture i pružanje usluga zračnog saobraćaja u svim vrstama zračnog prostora, klasičnog prostora, ali i prostora pri zemlji gdje će postojati veliki broj bespilotnih letjelica.

Jedna od najčešćih upotreba umjetne inteligencije u zrakoplovstvu je mašinsko učenje. Već se aktivno razvijaju aplikacije u području upravljanja zračnim prostorom, aerodromskim sistemima, kao i u području avionike, od kojih većina su izravno usmjereni na poboljšanje performansi u stvarnom vremenu. U narednoj tabeli (Tabela 1.) prikazana je široka upotreba AI tehnologija unutar ATM oblasti, dajući široki spektar aplikacija koje već postoje ili su trenutno u razvoju.

Tabela 1. Moguće aplikacije umjetne inteligencije u zrakoplovstvu

Oblast primjene vještačke inteligencije	Zadaci i problemi primjene
Predikcija saobraćaja/modeliranje	-Poboljšanje predviđanja putanja zrakoplova, povećanje sigurnosti i kapaciteta sistema zračnog saobraćaja.
Upravljanje resursima/optimizacija	-Implementacija optimalne konfiguracije sektora radi optimizacije kapaciteta s dostupnim resursima. -Podrška ravnoteži potražnje i kapaciteta upravljanja zračnim saobraćajem (ATM)
Opterećenje / Automatizacija / Autonomija	-Smanjenje radnog opterećenja kontrolora letenja (ATCO), na primjer, korištenjem modela prepoznavanja govora za asistenciju kontrolora. -Smanjenje rizika pomoću alata za sigurnosnu inteligenciju.
Aerodromske performanse	-Poboljšanje protoka na PSS-u (npr. predviđanje vremena rotacije, poboljšanje razmaka između zrakoplova). -Smanjenje kašnjenja na aerodromu.
Iskustvo putnika	-Poboljšanje transfera putnika i zadovoljstva korisnika. -Korištenje biometrijskih sistema radi ubrzanja sigurnog ukrcajanja.
Nadzor infrastrukture	-Poboljšanje praćenja globalnih navigacijskih satelitskih sistema (GNSS). -Praćenje sigurnosti informacijskog sistema (cybersecurity).
Letne sposobnosti	-automatsko i autonomno vođenje leta -detekcija i izbjegavanje sudara -Asistencija pilota i kontrolora letenja putem automatskog prepoznavanja govora. -Poboljšani automatski sistemi vođenja zrakoplova na zemlji i u zraku upotrebom računarskog vida. -planiranje leta na osnovu velikih baza podataka
Performanse zrakoplovnih kompanija	-Optimizacija potrošnje goriva. -Predlaganje boljih i efikasnijih ruta. -Analiza podataka o putnicima i trendovima -Korisnička podrška i chatbotovi -Personalizacija usluga za putnike

Predikcija ključnih operativnih parametara na aerodromima ima izuzetno važnu ulogu u unapređenju efikasnosti, sigurnosti i održivosti zračnog saobraćaja. Tačna predviđanja omogućavaju bolje planiranje kapaciteta, optimizaciju korištenja PSS-a i stajanki, kao i efikasniju raspodjelu ljudskih i tehničkih resursa. Također, predikcija kašnjenja, vremena opsluživanja zrakoplova i vremenskih utjecaja doprinosi smanjenju operativnih poremećaja i povećanju tačnosti letova. Na strateškom nivou, pouzdani modeli predikcije podržavaju donošenje kvalitetnijih upravljačkih odluka i planiranje razvoja infrastrukture. Osim operativnih koristi, prediktivni modeli doprinose i smanjenju potrošnje goriva, emisija štetnih gasova i buke, čime direktno podržavaju ciljeve održivog razvoja zračnog saobraćaja. Upravo zbog toga veliki broj naučnika se bavio upotrebom AI za predikciju određenih parametara, gdje su najviše korišteni algoritmi mašinskog učenja.

U nastavku su predstavljeni objavljeni radovi koji se tiču upotrebe algoritama mašinskog učenja u cilju optimizacije sistema zračnog saobraćaja.

Godina	Naslov rada	Autori	Časopis	Područje istraživanja
2022	Predikcija kašnjenja na aerodromu koristeći regresijske modele mašinskog učenja kao alat za proces donošenja odluka [2]	E. Šimić M. Begović	ICT and Electronics Convention MIPRO	Algoritmi mašinskog učenja
2022	Model čekanja za procjenu vremena vožnje zrakoplova po PSS [3]	H. Idris et al.	ATC Quarterly	Predikcija vremena voženja
2021	Predikcija vremena vožnje zrakoplova po PSS: Važnost značajki i njihove implikacije[4]	X.Wang et al.	Transportation Research Part C	Predikcija vremena voženja
2021	Identifikacija operativnih koristi sistema za upravljanje dolascima – metoda temeljena na KPI-ima kroz evaluaciju radarskih putanja [5]	S.Liu et al	Promet - Traffic Traffico	Podrška sistemu odlučivanja
2021	Predikcija kašnjenja leta korištenjem klasifikatora mašinskog učenja s gradijentnim pojačavanjem[6]	M.Lu et al	Journal of Quantum Computing	Algoritmi mašinskog učenja

U radu [2] su posmatrane različite konfiguracije i značajke najvećih evropskih aerodroma. Kapacitet i efikasnost sistema značajno ovisi o velikom broju atributa i karakteristika zračne strane aerodroma. U analizi korelacije podataka, ustanovljene su međuovisnosti pojedinačnih atributa i izlaznih vrijednosti. Najveća pozitivna korelacija sa prosječnim kašnjenjem ustanovljena sa prosječno-dodatnim vremenom vožnje, brojem operacija i kapacitetom terminala. Korelacijska matrica potvrđuje da su kašnjenja veća na aerodromima koje imaju veći broj poletno-sljernih staza. Ako aerodrom ima veći broj poletno-sletnih staza, to ne znači nužno i veći kapacitet. Broj operacija raste s brojem dostupnih konfiguracija, stoga broj poletno-sletnih staza nije toliko važan. Naprimjer, aerodrom Oslo ima 2 staze, ali 7 dostupnih konfiguracija i omogućuje širok raspon operativnih mogućnosti što povećava ukupni kapacitet.

Rad [3] nastoji da poboljša tačnost procjene vremena voženja. Metoda je bila identificirati glavne faktore koji utječu na vrijeme voženja i izgraditi model procjene koji uzima u obzir one najvažnije. Analiza provedena na aerodromu Boston Logan identificirala je konfiguraciju PSS, zrakoplovnu kompaniju/terminal, ograničenja u odlascima i veličinu reda za polijetanje kao glavne uzročne faktore koji utječu na vrijeme voženja.

Istraživanje [4] je dalo modele predviđanja vremena voženja zrakoplova i uvelo skup faktora koje mogu utjecati na vrijeme voženja, među kojima je operativni način rada PSS-a, niskobudžetne zrakoplovne kompanije i značajke brzine zrakoplova.

Skupina autora u radu [5] predlažu metodu komparativne analize temeljenu na ključnim indikatorima performansi za kvantitativno identificiranje operativnih prednosti sistema „Arrival Manager (AMAN)“ gdje kao podatke koriste radarske putanje, predlažući i dokazujući da su KPI efikasni za evaluaciju AMAN-a.

Rad [6] predlaže algoritam za predviđanje kašnjenja leta temeljen na „Gradient boosting classifier“ algoritmu. U radu su koristili podatke o letovima koji pokrivaju sve aerodrome u Kini i rad za razliku od predhodnih modela ima mnogo širu primjenu.

Prijetnje i izazovi primjene vještačke inteligencije u avijaciji

Iako vještačka inteligencija donosi brojne koristi za sektor zrakoplovstva, njena primjena istovremeno otvara niz ozbiljnih izazova i potencijalnih rizika koje je neophodno pažljivo razmotriti. Za razliku od drugih industrija, avijacija je sigurnosno kritičan sistem u kojem greške mogu imati katastrofalne posljedice, zbog čega se nove tehnologije moraju uvoditi krajnje oprezno.

Jedan od ključnih izazova odnosi se na sigurnost sistema. Postavlja se pitanje pouzdanosti AI rješenja i njihove otpornosti na greške, posebno u situacijama koje nisu bile obuhvaćene podacima za učenje. Povjerenje u automatizirane odluke može biti pogrešno ako sistem ne djeluje predvidivo ili transparentno. Posebno značajan rizik predstavljaju i kibernetičke prijetnje. Budući da AI sistemi zavise od velikih količina podataka i mrežne povezanosti, povećava se izloženost napadima, manipulaciji podacima i zloupotrebi informacija.

Dodatni izazov predstavlja ograničena sposobnost AI sistema da zamijene ljudsku prosudbu u složenim, nepredvidivim situacijama. Zrakoplovne operacije često zahtijevaju iskustvo, intuiciju i kontekstualno razumijevanje koje je teško formalizirati. Primjena AI-ja također otvara pitanje utjecaja na tržište rada, jer automatizacija može dovesti do smanjenja potrebe za određenim radnim mjestima. Pored toga, pojavljuju se i etička pitanja vezana za donošenje odluka u kritičnim situacijama, kao i problemi zaštite privatnosti zbog obrade osjetljivih podataka.

Također, jedan od problema predstavlja regulatorni okvir zrakoplovstva koji ne dozvoljava necertificirane i eksperimentalne metode i sve one metode koje bi ugrozili trenutno funkcionisanje sistema zračnog saobraćaja koji se bazira na vrlo strogim, pouzdanim i dokazanim principima.

Zaključak

Vještačka inteligencija danas nalazi primjenu u različitim oblastima zrakoplovstva, uključujući planiranje operacija, upravljanje kapacitetima, predikciju kašnjenja, optimizaciju ruta i podršku donošenju odluka. Ipak, zbog potrebe za izuzetno visokim nivoom pouzdanosti, sigurnosti te dugotrajnih procesa testiranja i certifikacije, njena stvarna operativna primjena još uvijek je ograničena i u velikoj mjeri se nalazi u fazama eksperimentalne validacije. Većina dosadašnjih akademskih istraživanja fokusira se na korištenje historijskih podataka o sigurnosti i efikasnosti sistema s ciljem predikcije određenih operativnih parametara i demonstracije potencijala AI modela. Očekuje se da će tehnologije koje su već testirane i dokazano pouzdane u drugim vidovima saobraćaja prve pronaći širu primjenu i u zrakoplovstvu. Trenutno se najveći dio primjene AI-ja zasniva na optimizaciji procesa i povećanju efikasnosti sistema zračnog saobraćaja, prvenstveno kroz podršku donosiocima odluka, omogućenu analizom velikih količina podataka. Dugoročno, uz razvoj regulatornih okvira i rast povjerenja u tehnologiju, AI ima potencijal da postane jedan od ključnih faktora razvoja zrakoplovne industrije.

Literatura

- [1] EUROCONTROL. (2020). The FLY AI Report Demystifying and Accelerating AI in Aviation/ATM, (March), 76.
- [2] E. Šimić, and M. Begović. (2022). Airport delay prediction using machine learning regression models as a tool for decision making process. In MIPRO. Opatija.
- [3] H. Idris, J.-P. Clarke, R. Bhuvra, and L. Kang. (2002). Queuing Model for Taxi-Out Time Estimation. *Air Traffic Control Quarterly*, 10(1), 1–22. <https://doi.org/10.2514/atcq.10.1.1>
- [4] X. Wang, A. E. I. Brownlee, J. R. Woodward, M. Weiszer, M. Mahfouf, and J. Chen. (2021). Aircraft taxi time prediction: Feature importance and their implications. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 124(November 2020), 102892. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102892>
- [5] S. Liu, J. Zhang, Z. Peng, H. Guo, and A. Pi. (2021). Identifying operational benefits of the arrival management system – a kpi-based experimental method by evaluating radar trajectories. *Promet – Traffic – Traffico*, 33(5), 633–645. <https://doi.org/10.7307/PTT.V33I5.3786>
- [6] M. Lu, P. Wei, M. He, and Y. Teng. (2021). Flight Delay Prediction Using Gradient Boosting Machine Learning Classifiers. <https://doi.org/10.32604/jqc.2021.016315>