

Sistemi za detekciju i upravljanje saobraćajem na raskrsnicama uz podršku veštačke inteligencije²

Katarina Tadić, Yunex Traffic, Beograd, katarina.tadic@yunextraffic.com

Aleksandra Obradović, Yunex Traffic, Beograd,

aleksandra.obradovic.ext@yunextraffic.com

Ivana Drešević, Yunex Traffic, Beograd, ivana.dresevic@yunextraffic.com

Rezime: Efikasno upravljanje saobraćajem na urbanim raskrsnicama predstavlja jedan od ključnih izazova savremenih inteligentnih transportnih sistema. Tradicionalni semaforški sistemi, zasnovani na fiksnim signalnim programima, često ne mogu adekvatno da odgovore na dinamičke promene u saobraćajnim zahtevima i kretanju pešaka, što može dovesti do većih vremenskih gubitaka i smanjenja nivoa bezbednosti saobraćaja. U ovom radu istražuje se primena kamera u kombinaciji sa metodama veštačke inteligencije za automatsku detekciju i praćenje vozila i pešaka u realnom vremenu. Korišćenjem algoritama veštačke inteligencije omogućeno je pouzdano prepoznavanje i klasifikacija učesnika u saobraćaju, na osnovu čega se realizuje upravljanje saobraćajem na raskrsnici. Dinamičko prilagođavanje trajanja i redosleda faza može doprineti smanjenju vremenskih gubitaka, efikasnijem korišćenju kapaciteta raskrsnice i unapređenju bezbednosti saobraćaja, posebno ranjivih učesnika.

Ključne reči: upravljanje saobraćajem, veštačka inteligencija, Aware AI

1 UVOD

Savremeni gradovi suočavaju se sa rastućim problemima saobraćajnih gužvi, povećanim brojem vozila i potrebom za unapređenjem bezbednosti svih učesnika u saobraćaju. Raskrsnice predstavljaju kritične tačke saobraćajne mreže na kojima često dolazi do zagušenja, konflikata saobraćajnih tokova i povećanog rizika od saobraćajnih nezgoda. Tradicionalni sistemi upravljanja semaforima zasnovani su na unapred definisanim signalnim planovima i ograničenim informacijama o trenutnom stanju saobraćaja, zbog čega ne mogu uvek efikasno odgovoriti na promene intenziteta saobraćaja [1]. Razvoj veštačke inteligencije, računarskog vida i inteligentnih transportnih sistema omogućio je primenu naprednih metoda detekcije i upravljanja saobraćajem u realnom vremenu. Analizom podataka prikupljenih pomoću kamera i AI algoritama moguće je identifikovati različite učesnike u saobraćaju, pratiti njihovo kretanje i optimizovati rad semaforne signalizacije [1,2]. Cilj rada je analiza sistema za detekciju i upravljanje saobraćajem na raskrsnicama uz podršku veštačke inteligencije, sa posebnim osvrtom na sistem Yutrafic awareAI kompanije Yunex Traffic.

² CC-BY licenca

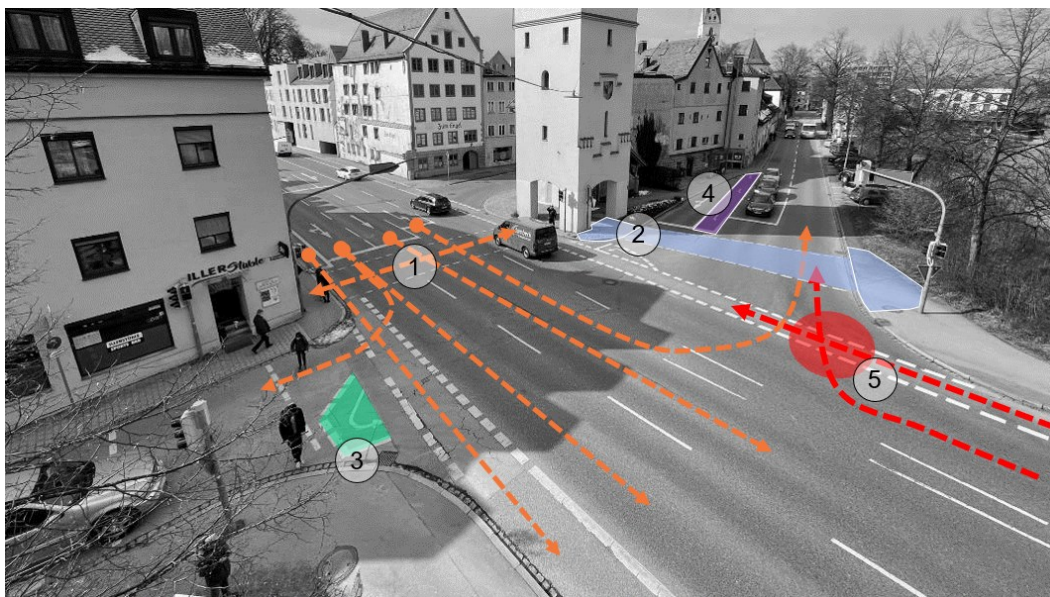
2 SISTEMI ZA DETEKCIJU SAOBRAĆAJA NA RASKRSNICAMA

Detekcija saobraćaja predstavlja osnovni element sistema za upravljanje saobraćajem. Tačnost i pouzdanost prikupljenih podataka direktno utiču na kvalitet odluka koje donosi upravljački sistem. Tradicionalne metode detekcije obuhvataju induktivne petlje ugrađene u kolovoz, radarske senzore i različite vrste detektorskih kamera.

Induktivne petlje predstavljaju jedno od najčešće korišćenih rešenja zbog jednostavne logike rada, ali nude ograničene informacije, jer uglavnom registruju samo prisustvo vozila na određenoj lokaciji [1]. Razvojem tehnologija računarskog vida pojavili su se sistemi zasnovani na video analitici i dubokom učenju. Ovakvi sistemi koriste kamere i algoritme veštačke inteligencije za automatsku detekciju i klasifikaciju učesnika u saobraćaju. Pored motornih vozila, moguće je identifikovati pešake, bicikliste, motocikliste i električne trotinete, kao i pratiti njihovo kretanje kroz celu raskrsnicu [1,2]. U odnosu na tradicionalne senzore, AI sistemi omogućavaju znatno detaljniju analizu saobraćajne situacije i pružaju podatke koji se mogu koristiti za adaptivno upravljanje signalizacijom i dugoročno planiranje saobraćajne infrastrukture [3].

3 UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM UZ PODRŠKU VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Klasični sistemi upravljanja semaforima uglavnom funkcionišu prema unapred definisanim vremenskim planovima. Takav pristup ne uzima u obzir stvarnu gustinu saobraćaja i promene koje nastaju tokom dana. Kao posledica toga javljaju se nepotrebna čekanja, povećana potrošnja goriva i smanjena efikasnost saobraćajne mreže. Jedno od savremenih rešenja za prevazilaženje ovih problema jeste sistem Yuttraffic awareAI, koji koristi kamere i algoritme mašinskog učenja za kontinuirano praćenje saobraćaja. Sistem omogućava detekciju, klasifikaciju i praćenje više vrsta učesnika u saobraćaju u realnom vremenu, pri čemu se dobijeni podaci koriste za optimizaciju rada raskrsnice [1,2].



Slika 1. Prikaz funkcionisanja sistema Yuttraffic awareAI na raskrsnici

Na slici 1 prikazan je primer primene sistema Yuttraffic awareAI na urbanoj raskrsnici. Višekamerna konfiguracija omogućava kontinuirano posmatranje kompletne zone raskrsnice i kreiranje digitalnog prikaza saobraćajne situacije u realnom vremenu. Obeležene zone prikazuju različite funkcionalnosti sistema:

- praćenje saobraćajnih tokova motornih vozila kroz raskrsnicu;
- detekciju i analizu konfliktnih zona između učesnika u saobraćaju;
- detekciju pešaka radi aktiviranja ili produženja zelenog svetla;
- identifikaciju biciklista i drugih ranjivih učesnika u saobraćaju;
- praćenje manevara skretanja i potencijalno opasnih situacija.

Sistem koristi algoritme mašinskog učenja za klasifikaciju i praćenje objekata, pri čemu generiše precizne podatke o kretanju svih učesnika u saobraćaju. Dobijeni podaci omogućavaju adaptivno upravljanje semaforima, što doprinosi povećanju protoka i bezbednosti na raskrsnicama [1,2]. Posebna karakteristika sistema jeste mogućnost multimodalnog upravljanja saobraćajem. Za razliku od tradicionalnih sistema koji su prvenstveno usmereni na motorna vozila, awareAI istovremeno uzima u obzir pešake, bicikliste, kao i sve ostale ranjive učesnike u saobraćaju. Na osnovu detektovanih obrazaca kretanja moguće je produžiti trajanje zelenog svetla za pešake ili bicikliste, kao i prilagoditi signalne planove u skladu sa trenutnim opterećenjem raskrsnice [1,3].

3.1 Digitalni blizanac raskrsnice

Jedna od najznačajnijih karakteristika sistema Yuttraffic awareAI jeste mogućnost kreiranja digitalnog blizanca (Digital Twin) raskrsnice. Digitalni blizanac predstavlja virtuelni model stvarnog saobraćajnog okruženja koji se kontinuirano ažurira podacima prikupljenim sa kamera i drugih izvora podataka [1,2]. Korišćenjem algoritama mašinskog učenja sistem u realnom vremenu detektuje i prati vozila, pešake, bicikliste i druge učesnike u saobraćaju, pri čemu generiše digitalni prikaz njihovog kretanja kroz raskrsnicu. Na osnovu tako formiranog modela moguće je bolje razumeti saobraćajne tokove, identifikovati kritične tačke i optimizovati rad signalizacije [1]. Digitalni blizanci predstavljaju važan element koncepta pametnih gradova, jer omogućavaju simulaciju različitih scenarija upravljanja bez potrebe za intervencijama u realnom saobraćaju. Prikupljeni podaci mogu se koristiti za donošenje kvalitetnijih odluka u procesu planiranja i razvoja saobraćajne infrastrukture [2,3].

4 PREDNOSTI I IZAZOVI PRIMENE AI SISTEMA

Primena veštačke inteligencije u upravljanju saobraćajem donosi brojne prednosti. Najvažnije su povećanje protoka vozila u saobraćaju, smanjenje zagušenja i efikasnije korišćenje postojećih infrastrukturnih kapaciteta. Zahvaljujući preciznoj detekciji pešaka i biciklista povećava se bezbednost ranjivih kategorija učesnika u saobraćaju [1,5]. Dodatna prednost sistema awareAI jeste mogućnost prikupljanja detaljnih statističkih podataka o saobraćajnim tokovima. Takve informacije mogu poslužiti za planiranje novih saobraćajnih rešenja, razvoj pametnih gradova i donošenje kvalitetnijih upravljačkih odluka [2,3].

Primena sistema zasnovanih na video detekciji često otvara pitanje zaštite privatnosti građana. Iz tog razloga sistem Yuttraffic awareAI projektovan je u skladu sa zahtevima Opšte uredbe Evropske unije o zaštiti podataka (GDPR). Obrada podataka vrši se lokalno

na uređaju instaliranom uz raskrnicu, pri čemu se video sadržaj koristi isključivo za potrebe analize saobraćaja [2,3]. Sistem generiše anonimne podatke o kretanju učesnika u saobraćaju i ne skladišti lične podatke niti video snimke koji bi omogućili identifikaciju pojedinaca. Na taj način ostvarena je ravnoteža između potrebe za efikasnim upravljanjem saobraćajem i zaštite privatnosti građana [2,3].

Sa druge strane, primena ovakvih sistema podrazumeva određene izazove. Neophodna su značajna finansijska ulaganja u opremu, komunikacionu infrastrukturu i održavanje sistema. Takođe, efikasnost rada može zavisiti od kvaliteta video zapisa, vremenskih uslova i pouzdanosti algoritama za prepoznavanje objekata [2,4].

5 PRIMER PRIMENE SISTEMA AWAREAI

Praktična primena sistema Yuttraffic awareAI pokazuje mogućnosti korišćenja veštačke inteligencije u različitim oblastima upravljanja saobraćajem. Pored optimizacije rada raskrsnica, sistem se koristi i kao podrška modernim inteligentnim transportnim sistemima i autonomnoj mobilnosti. Značajni primeri implementacije realizovani su u Bernu u Švajcarskoj i Gracu u Austriji.

5.1 *Primena sistema awareAI u Bernu*

Grad Bern je među prvim gradovima koji su primenili sistem Yuttraffic awareAI u cilju modernizacije saobraćajne infrastrukture i unapređenja bezbednosti svih učesnika u saobraćaju [5].

Na raskrnicama opremljenim sistemom awareAI primenjena je video detekcija zasnovana na veštačkoj inteligenciji koja omogućava identifikaciju vozila, pešaka i biciklista u realnom vremenu. Za razliku od tradicionalnih sistema zasnovanih na induktivnim petljama ugrađenim u kolovoz, nova tehnologija obezbeđuje detaljnije informacije o kretanju učesnika u saobraćaju i njihovim međusobnim interakcijama [5].

Poseban fokus projekta bio je na unapređenju bezbednosti pešaka i biciklista. Kada sistem detektuje pešake ili bicikliste na prilazu raskrsnici, moguće je automatski prilagoditi signalne faze i produžiti trajanje zelenog svetla, čime se povećava bezbednost prelaska kolovoza. Istovremeno, analiza saobraćajnih tokova omogućava efikasnije upravljanje signalizacijom i smanjenje vremenskih gubitaka [5].

Nakon uspešno sprovedene test faze, sistem Yuttraffic awareAI uveden je u redovan rad na odabranim lokacijama u Bernu. U okviru projekta modernizacije svetlosne signalizacije na lokacijama Inselplatz i Effinger-/Belpstrasse instalirano je ukupno 16 kamera sa obradom slike u realnom vremenu. Na području Kocherparka primenom sistema awareAI zamenjeno je približno 40% standardne detekcije zasnovane na induktivnim petljama. Pored detekcije motornih vozila, sistem omogućava prepoznavanje pešaka i biciklista i procenu njihovog kretanja pri prilasku raskrsnici. Na osnovu detekcije ranjivih učesnika moguće je zahtevati ciljano produženje zelenog vremena, pri čemu ovakva funkcionalnost može biti od posebnog značaja za slepe i slabovide pešake.

Dostupni javni izvori prvenstveno dokumentuju funkcionalne i operativne efekte implementacije sistema, dok kvantifikovani rezultati poređenja stanja pre i nakon implementacije, kao što su promene broja saobraćajnih nezgoda ili konfliktnih situacija sa pešacima i biciklistima, nisu javno publikovani. Zbog toga se efekti sistema u ovom primeru mogu pouzdano sagledati kroz unapređenje mogućnosti detekcije i adaptivnog

upravljanja, dok bi za kvantifikaciju njegovog uticaja na bezbednost bilo potrebno sprovesti odgovarajuću pre–posle analizu.

5.2 *Primena sistema awareAI u Gracu*

Drugi primer primene sistema awareAI realizovan je u austrijskom gradu Gracu u okviru evropskog projekta SHOW, koji se bavi razvojem automatizovane i povezane mobilnosti [6]. Kroz ovaj projekat testiraju se savremena rešenja zasnovana na veštačkoj inteligenciji i kooperativnim inteligentnim transportnim sistemima (C-ITS) sa ciljem povećanja bezbednosti i efikasnosti saobraćaja.

Na više lokacija u Gracu implementirani su sistemi kamera i AI analitike koji omogućavaju kontinuirano praćenje saobraćajnog okruženja i razmenu informacija sa vozilima putem C-ITS komunikacije [6].

Na više lokacija u Gracu implementirani su sistemi kamera i AI analitike koji omogućavaju kontinuirano praćenje saobraćajnog okruženja i razmenu informacija sa vozilima putem C-ITS komunikacije [6]. Poseban primer predstavlja intermodalni saobraćajni čvor Puntigam, kroz koji prolazi trasa automatizovanih vozila u okviru SHOW projekta. Jedan od izazova na ovoj lokaciji predstavlja prolazak automatizovanog vozila kroz autobuski terminal, gde je potrebno pravovremeno utvrditi koja je od autobuskih pozicija slobodna, odnosno nije zauzeta autobusom, kao i obezbediti bezbedno kretanje u okruženju sa velikim brojem ranjivih učesnika u saobraćaju [6,7]. Iz tog razloga je na lokaciji Puntigam implementiran sistem awareAI koji pomoću kamera i lokalne obrade podataka prati definisane zone autobuskih stajališta i utvrđuje njihovu trenutnu zauzetost. Informacije o zauzetosti prosleđuju se lokalnoj C-ITS jedinici (Roadside Unit – RSU), koja ih putem ITS-G5 komunikacionog kanala kontinuirano šalje automatizovanim vozilima. Dobijene informacije integrišu se u sistem za planiranje kretanja vozila i dopunjuju podatke dobijene senzorima samog vozila. Na taj način automatizovano vozilo može automatski da identifikuje i izabere prvu raspoloživu autobusku poziciju, čime se omogućava efikasniji prolazak kroz složeno i dinamično okruženje intermodalnog saobraćajnog čvora [6,7].

Pored toga, značajna primena sistema ostvorena je na signalizovanoj raskrsnici Keplerstraße / Mariengasse, gde je u rad pušten sistem awareAI povezan sa C-ITS Roadside Unit uređajem. Ova raskrsnica predstavlja potencijalno rizičnu lokaciju za bicikliste zbog vozila koja skreću udesno i često kasno uočavaju bicikliste koji prilaze raskrsnici. Takve situacije mogu dovesti do pojave takozvanog „mrtvog ugla“ (blind spot), što povećava rizik od nastanka saobraćajnih nezgoda [6]. Kako bi se povećala bezbednost biciklista, sistem awareAI koristi kamere i algoritme veštačke inteligencije za rano otkrivanje biciklista koji se približavaju biciklističkom prelazu. Nakon detekcije generiše se odgovarajuća C-ITS poruka upozorenja koja se putem ITS-G5 komunikacionog kanala prosleđuje vozilima opremljenim C-ITS tehnologijom. Vozači tako dobijaju blagovremene informacije o prisustvu biciklista i mogu pravovremeno prilagoditi svoje ponašanje u saobraćaju, čime se značajno smanjuje mogućnost nastanka konfliktnih situacija [6].

Za razliku od primene sistema awareAI u Bernu, gde je fokus bio na adaptivnom upravljanju signalizacijom i zaštiti pešaka i biciklista, projekat u Gracu pokazuje mogućnosti integracije sistema sa naprednim komunikacionim tehnologijama i sistemima podrške povezanoj i autonomnoj mobilnosti [6]. Ovaj primer potvrđuje da Yuttraffic

awareAI predstavlja fleksibilnu platformu koja se može koristiti za različite potrebe inteligentnih transportnih sistema, od optimizacije rada raskrsnica do povećanja bezbednosti svih učesnika u saobraćaju i razvoja transportnih sistema budućnosti [6].

6 ZAKLJUČAK

Veštačka inteligencija predstavlja jednu od značajnih tehnologija savremenih inteligentnih transportnih sistema i ima sve veću ulogu u detekciji i upravljanju saobraćajem na raskrsnicama. Kombinacijom kamera, računarskog vida i algoritama mašinskog i dubokog učenja moguće je ostvariti detekciju, klasifikaciju i praćenje različitih kategorija učesnika u saobraćaju u realnom vremenu. Na osnovu tako prikupljenih podataka moguće je prilagođavati rad svetlosne signalizacije trenutnim saobraćajnim zahtevima, što može doprineti smanjenju vremenskih gubitaka, efikasnijem korišćenju raspoloživog kapaciteta raskrsnice i unapređenju bezbednosti saobraćaja.

Sistem Yuttraffic awareAI kompanije Yunex Traffic predstavlja primer rešenja zasnovanog na veštačkoj inteligenciji koje, pored detekcije različitih kategorija učesnika u saobraćaju, omogućava formiranje digitalnog prikaza saobraćajne situacije u realnom vremenu. Na taj način mogu se obezbediti detaljnije informacije o saobraćajnim tokovima i kretanju pojedinih učesnika, koje se mogu koristiti kao podrška adaptivnom upravljanju svetlosnom signalizacijom, analizi saobraćajnih uslova i donošenju upravljačkih odluka.

Analizirani primeri iz Berna i Graca ukazuju na različite mogućnosti primene ovakvih sistema. U Bernu je primena sistema prvenstveno usmerena na unapređenje detekcije učesnika u saobraćaju i prilagođavanje rada svetlosne signalizacije, sa posebnim značajem za pešake i bicikliste. Primeri iz Graca pokazuju mogućnost povezivanja AI detekcije sa C-ITS tehnologijama. Na lokaciji Puntigam informacije o zauzetosti autobuskih pozicija koriste se kao podrška planiranju kretanja automatizovanih vozila kroz složeno intermodalno saobraćajno čvorište, dok se na raskrsnici Keplerstraße/Mariengasse detekcija biciklista koristi za generisanje upozorenja vozilima o potencijalno konfliktnim situacijama.

Prikazani primeri ukazuju na to da primena veštačke inteligencije može proširiti mogućnosti tradicionalnih sistema detekcije i omogućiti kvalitetnije sagledavanje trenutnog stanja na raskrsnici. Poseban potencijal ovih sistema ogleda se u mogućnosti istovremenog praćenja različitih kategorija učesnika u saobraćaju, povezivanja sa adaptivnim upravljanjem i C-ITS komunikacijom, kao i pružanja podrške povezanoj i automatizovanoj mobilnosti. Dalji razvoj i primena ovih tehnologija trebalo bi da budu praćeni analizom njihovih stvarnih efekata na vremenske gubitke, kapacitet i bezbednost saobraćaja, kako bi se njihova efikasnost mogla kvantitativno oceniti u različitim saobraćajnim uslovima.

LITERATURA

- [1] Yunex Traffic, Advanced Perception & Detection - Smart Intersection. Dostupno na: <https://www.yunextraffic.com/portfolio/urban/smart-intersection/advanced-perception-detection/> [yunextraffic.com]
- [2] Yunex Traffic, Yuttraffic awareAI Product Brochure, 2023. [yunextraffic.com]
- [3] Yunex Traffic UK, Yuttraffic awareAI. Dostupno na: <https://uk.yunextraffic.com/portfolio/detection-solutions/yuttraffic-awareai/> [uk.yunextraffic.com]

- [4] Yunex Traffic UK, Yutrafic awareAI Datasheet, 2025. [uk.yunextraffic.com]
- [5] ITS International, Yutrafic awareAI deployed in Swiss capital, 29. januar 2025. [itsinternational.com]
- [6] AustriaTech, Digital Infrastructure in the SHOW Project: Exploring Automated Connected Driving in Austria, 2024. Dostupno na: <https://www.austriatech.at/en/c-its-in-show/>
- [7] SHOW Project, Simulation Suite: Simulating Automated Mobility – Graz, European Union Horizon 2020 Research and Innovation Programme, Grant Agreement No. 875530. Dostupno na: <https://show-project.eu/sim-suite-graz-sam/>

SUMMARY

Traffic Detection and Management Systems at Intersections Supported by Artificial Intelligence

Abstract: Efficient traffic management at urban intersections is one of the key challenges of modern Intelligent Transportation Systems (ITS). Traditional traffic signal systems based on fixed-time signal plans are often unable to respond effectively to dynamic changes in traffic demand and pedestrian movements, resulting in increased delays and reduced safety. This paper investigates the application of camera-based detection systems combined with artificial intelligence methods for the automatic detection and tracking of vehicles and pedestrians in real time. By utilizing artificial intelligence algorithms, reliable recognition and classification of road users can be achieved, providing the basis for adaptive traffic control at intersections. Dynamic adjustment of signal timing and phase sequences contributes to reducing waiting times, increasing traffic flow efficiency, and improving road safety, particularly for pedestrians. The proposed approach represents a significant step toward the development of intelligent traffic signal systems within the framework of smart city initiatives.

Key words: traffic management, artificial intelligence, Aware AI