

## Primena IT i neuronskih mreža za efikasno obezbeđenje kvalitetnih podataka o saobraćajnom zahtevu

Aleksandra Kovač, ElcomBgd d.o.o, Beograd, [aleksandra.kovac@elcombgd.rs](mailto:aleksandra.kovac@elcombgd.rs)

*Rezime: Istraživači i projektanti se u svom radu sreću sa izazovom kada je potrebno prikupiti kvalitetne podatke o predmetnom saobraćajnom procesu. Savesna izrada saobraćajnih studija i projekata zasniva se na zamašnim istraživanjima karakteristika saobraćajnog zahteva na saobraćajnoj mreži, koja nekada obuhvataju i po više nedelja i vremenskih preseka, a po pravilu se vrše na redukovanom uzorku i „offline”. Savremena informaciona tehnologija i praktični alati veštačke inteligencije su omogućili da se u veoma kratkom roku, po potrebi i „online”, za potreban prostorni obuhvat (raskrnicu, koridor ili gradsku zonu), na mnogostruko većem uzorku i sa izrazitom tačnošću, automatski snimaju detaljni podaci o karakteristikama saobraćajnih tokova. Korišćenjem drona sa kamerom i softvera za obradu snimljenog materijala koji radi na bazi veštačke inteligencije, dolazi se do verodostojnih podataka o obimu saobraćaja, strukturi tokova prema standardnim ili specifičnim kategorijama vozila, I-C matrici, ali i do drugih relevantnih podataka. U radu je, na primeru aplikacije razvijene za komercijalnu upotrebu, okvirno prikazana metodologija rada sistema video detekcije i automatske obrade kompleksnih podataka o saobraćajnom zahtevu korišćenjem moćnog alata veštačke inteligencije.*

*Gljučne reči: saobraćajno istraživanje, I-C matrica, video detekcija, veštačka inteligencija*

### 1 UVOD

Savremeno upravljanje saobraćajem na urbanoj saobraćajnoj mreži je dominantno orijentisano na fleksibilno upravljanje u realnom vremenu, na osnovu informacije o aktuelnom saobraćajnom zahtevu. Alternativno se, zavisno od specifičnosti upravljanog saobraćajnog procesa, implementira detektorsko ili adaptibilno upravljanje. Grad Beograd je, recimo, pre par godina doneo stratešku odluku da svi novoizgrađeni semaforizovani saobraćajni objekti moraju biti fleksibilno upravljani, a fixed time strategija se primenjuje samo na objektima mreže nižeg ranga.

Fleksibilno upravljanje se zasniva dominantno na podacima o saobraćajnom zahtevu u realnom vremenu. Za potrebe strateškog odlučivanja/opredeljenja za tip i optimalnu strategiju upravljanja koji su najracionalniji i po meri konkretnog saobraćajnog procesa, potrebni su kvalitetni i što potpuniji podaci o saobraćajnom zahtevu (obim, struktura, I-C matrica). Dve alternativne tehnologije koje se danas angažuju na tom zadatku su zasnovane na induktivnim detektorskim petljama ugrađenim u kolovozu i na virtuelnim detektorima koji simuliraju ove prethodne.

Induktivne petlje su tradicionalna i relativno visoko pouzdana tehnologija, koju prate i znatni nedostaci. Najizrazitiji je taj što se fizičkom ugradnjom petlje u kolovoz vrši

oštećenje njegove površine i strukture, pri ugradnji se nužno prekida ili redukuje saobraćaj, a troškovi ugradnje sistema su relativno visoki. Fizička konfiguracija detektora je fiksna i ne može se lako ispraviti ili menjati, a deformacije kolovoza i njegove povremene opravke uništavaju ili ozbiljno degradiraju ugrađenu detektorsku opremu.

Odsustvo svih navedenih nedostataka tehnologije induktivnih petlji mali je deo prednosti alternativne tehnologije zasnovane na virtuelnim detektorima, bili oni u varijanti video ili IR (*Infra Red*) tehnologije. Video detekcija obezbeđuje veoma kvalitetne i sadržajne podatke o saobraćajnom zahtevu, pouzdano prepoznavanje kategorije vozila i praćenje njegove putanje kroz raskrscnicu. IR tehnologijom se obezbeđuje manje kompleksna informacija o detektovanom objektu, ali nemogućnost identifikacije korisnika detektovanog vozila sprečava ugrožavanje njegove privatnosti.

## 2 VIDEO SISTEM ZA BROJANJE SAOBRAĆAJA

Preduzeće ElcomBgd je razvilo i dalje usavršava komercijalnu aplikaciju za naprednu realizaciju video detekcije i snimanje saobraćajnog zahteva raskrscnice ili drugog tipa saobraćajnog objekta, čiji je korisnički interfejs prikazan na Slici 1.



Slika 1: Korisnički interfejs VTC (Visual Traffic Counts) programa

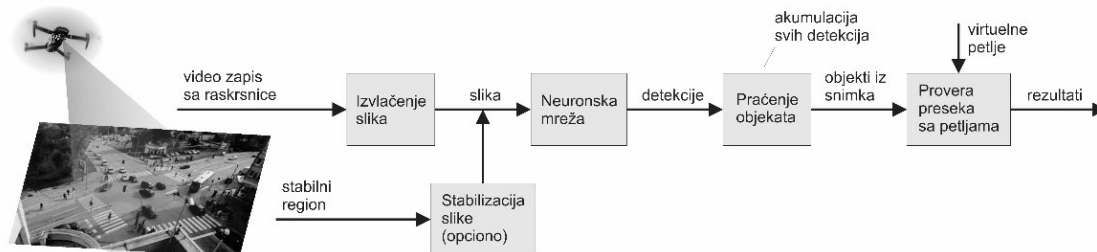
U opštem slučaju, snimanje saobraćajnog zahteva može biti namenjeno korišćenju u realnom vremenu (*online*) za potrebe fleksibilnog upravljanja saobraćajnim procesom, ili za naknadnu analizu pojave (*offline*), a tehnološki se realizuju posredstvom dve alternativne fizičke konfiguracije sistema.

*Online* detekcija vrši se neposredno na svakom od prilaza i izlaza raskrscnice, video kamerama montiranim na konzolnim ili portalnim stubovima, ili na obližnjim objektima koji obezbeđuju dobru preglednost zone detekcije. Idealno je da kamera namenjena detekciji vozila jednog prilaza bude postavljena tačno iznad detekcione površine i na poziciji sredine „detekcione linije”. Time se minimiziraju pojava „senke” (međusobnog zaklanjanja/ „prekrivanja” vozila) ili višestruke (dvostruke) detekcije istog vozila na susjednim petljama.

Virtuelne petlje se mogu na vidnom polju kamere iscrtavati po logici urezivanja induktivnih petlji, ali se pokazalo da je znatno efikasnije i pouzdanije koristiti linijsku formu. Naime, geometrijskom konfiguracijom „virtuelne petlje” u obliku poprečnog preseka preko kojeg prelaze vozila, i praćenjem neuronskom mrežom prepoznatog objekta posredstvom kretanja njegove geometrijske „centralne tačke”, minimizira se mogućnost

višestruke detekcije istog vozila na susednim „petljama“. Kada se brojanje vozila vrši po saobraćajnim trakama prilaza, definišu se kordon linije za svaku od traka, tako da se međusobno nadovezuju i pokrivaju ceo profil prilaza.

*Offline* varijanta pored korišćenja „fiksni“ kamera montiranih na parternoj infrastrukturi, najveću operativnost dostiže korišćenjem mobilne kamere montirane na dronu, koji se „fiksira“ na najpogodnijoj mikro lokaciji iznad saobraćajnog objekta čiji su tokovi predmet istraživanja. Sistem za brojanje saobraćaja funkcioniše prema blok dijagramu strimovanja prethodno snimljenog video zapisa prikazanom na Slici 2.



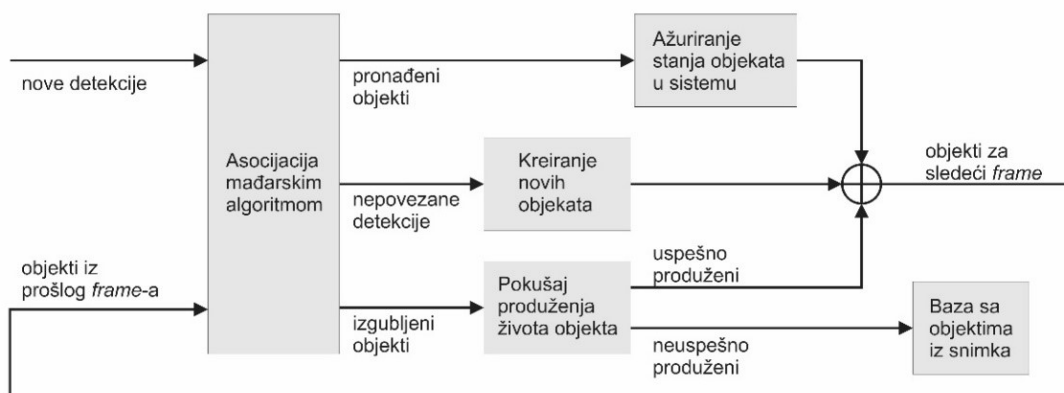
Slika 2: Stream processor

Video materijal se obrađuje u okviru neuronske mreže, analizom njegovih susednih frejmova (slika), realizacijom narednih koraka:

- izvlačenje pojedinačnih frejmova iz video zapisa,
- provera stabilnosti slike (kroz saglasnost sa fiksnim detaljima prethodne slike),
- korekcija uočene nestabilnosti (posredstvom fiksnih objekata video zapisa),
- prosleđivanje slika neuronskoj mreži,
- prepoznavanje i jednoznačno ID obeležavanje (identifikacija) objekata detekcije,
- detaljno praćenje po slikama kretanja svakog objekta u prostoru video detekcije,
- utvrđivanje interakcije objekata sa na slici definisanim poljima virtuelnih detektora (određivanje izvora i cilja kretanja svakog detektovanog objekta),
- rezultat striminga sadrži za svaki objekat (vozilo) njegovu prepoznatu kategoriju, tačku (krak raskrsnice) ulaska i tačka izlaska iz prostora raskrsnice.
- rezultati se šalju na obradu, u skladu sa potrebnim formatom i ciljem konkretnog istraživanja (brojanja saobraćaja).

Ključna komponenta procedure video snimanja saobraćajnog procesa raskrsnice jeste praćenje vozila/objekata, koje se realizuje prema koracima prikazanim blok dijagramom na Slici 3. Koraci se ponavljaju za svaki sledeći frejm video zapisa, a neuronska mreža prati stanje i status svih objekata, poredi ga sa stanjem iz prethodnog frejma i predizima akcije na obezbeđenju daljeg toka VTC procesa.

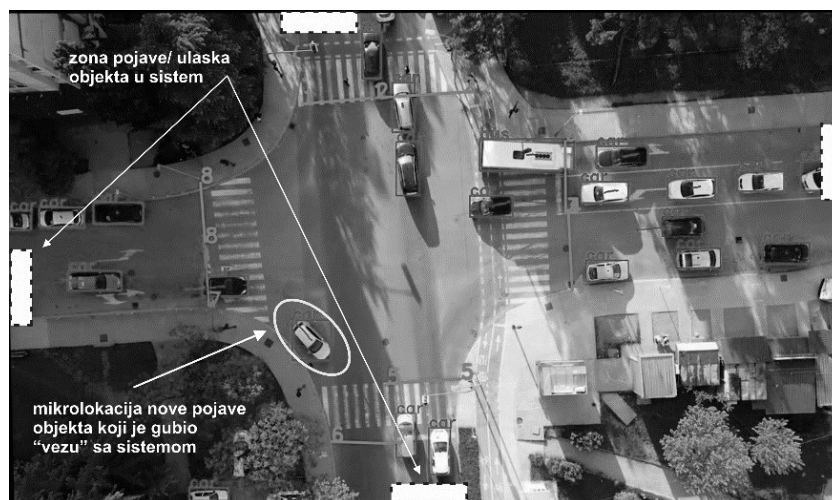
Osnovne akcije u okviru praćenja objekta su detakcija njegove pojave u sistemu, detekcija njegovog nestanka iz sistema (kao posledica greške – kratkotrajnog gubitka „veze“ sa objektom), pokušaj da se izgubljena „veza“ rekonstruiše i da se praćenje objekta nastavi, detekcija nestanka objekta iz sistema u momentu kada napušta prostor raskrsnice (izlazi iz frejma).



Slika 3: Praćenje objekata

Neuronska mreža predstavlja komponentu sistema video detekcije koja je imuna na greške, i čitavom VTC programu obezbeđuje izrazitu pouzdanost. Međutim, tokom procesa strimovanja snimka pojedini praćeni objekti iz izvesih razloga mogu biti tokom vrlo kratkog vremena komunikaciono izgubljeni iz sistema (gubitak „veze“), što može uzrokovati grešku. To je univerzalan problem u domenu video striminga (instant pristupa video materijalu) i može da se javi na bilo kom snimku iz različitih razloga.

Ako se pokretni objekat koji je prepoznat i sistem ga prati, u nekom momentu “izgubi” zbog kratkotrajnog gubitka veze (tokom par milisekundi ili na svega par uzastopnih frejmova snimka), njegova inicijalna identifikacija u programu se gubi i on bi se po “povratku” u sistem prepoznao kao novi objekat. Budući da je mikrolokacija njegove nove pojave u sistemu udaljena od zona u kojima novi objekti ulaze u vidno polje snimka, neuronskoj mreži “je jasno” da je novoprepoznati objekat rezultat uspostavljanja prethodno izgubljene veze sa već praćenim objektom. Zato se neuronska mreža obučava da na osnovu mikrolokacije pojave objekta i prethodno izgubljenih objekata u neposrednoj prošlosti i blizini, kao i sličnosti dva pripadajuća smera kretanja, ID “novog” objekta povezuje sa ID-om ispuštenog. Tako se uspešno rekonstruiše nastavak praćenja njegovog prethodnika i greška ispravlja (videti Sliku 4).



Slika 4: Streaming slike iz video snimka sa drona sa elementima ispravke gubitka „veze” objekta

Osim toga što se navedene greške javljaju veoma retko, one se mogu učiniti još manje izglednim ako visina sa koje se scena snima nije prevelika (pa prikazu objekta praćenja pripada mala "rezolucija"), ako je na slici koja se analizira minimiziran broj senki i okolnih objekata koji bi predstavljali smetnju između objekta i kamere, ako je kamera fizički stabilna, bez ikakvih trzaja i rotacija. Pojedine od grešaka se izbegavaju, odnosno povećava se uspešnost sistema u izbegavanju nastanka greške, dodatnim treniranjem neuronske mreže.

Neuronska mreža detektuje interakciju/preklapanje identifikovanog objekta sa virtuelnim „petljama” iscrtanim na frejmu. Kada do prvog preklapanja dođe, beleži se detekcija vozila na poziciji gde je ono ušlo u raskrsnicu. U narednim kadrovima se prati kretanje vozila do sledećeg preklapanja sa virtuelnom „petljom” koja kontroliše napuštanje zone raskrsnice. Time je za identifikovano vozilo definisana tačka ulaska i tačka izlaska iz konfliktne zone raskrsnice, što je jedan I-C par, i sa podacima o kategoriji objekta i vremenskim odrednicama događaja predstavlja rezultat video detekcije.

### 3 NEURONSKA MREŽA - KLJUČAN ALAT VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

U okviru razvijene VTC aplikacije ElcomBgd primenjuje složeni YOLOX-L model neuronske mreže (*You Only Look Once*), koji koristi tehniku dubokog učenja, a strukturno i funkcionalno je naklonjen, između ostalog, i realizaciji zadataka iz domena detekcije i prepoznavanja objekata na slikama u realnom vremenu.

Treniranje mreže za izrazito efikasno prepoznavanje objekata vršeno je na *Open Images V7 dataset-u*, aplikaciji koja korisniku stavlja na raspolaganje ogromnu bazu inicijalno formiranog materijala (prikaz objekata sa razvijenim detaljnim video performansama i pripadajućim relacijama) i omogućuje dalju efikasnu obuku i specijalizaciju neuronske mreže u korisniku potrebnom smeru.

Konkretna neuronska mreža je obučena da sa izrazitom pouzdanošću prepoznaje i klasifikuje objekte koji se na slikama i video snimcima pojavljuju u prostoru saobraćajnih objekata (raskrsnica, kružnih tokova, trgova, duž saobraćajnica) kao činioci saobraćajnog procesa. Kao ciljni objekti prepoznavanja definisani su ljudi (u ulozi pešaka, vožnji trotineta), bicikla, motocikla, putnički automobili, kombi/ minibus vozila, autobusi, šinska vozila (tramvaji, vozovi), laka teretna, teška teretna vozila i auto-vozovi.

Analiza pouzdanosti detekcija korišćenjem ovog softvera je sprovedena na uličnoj mreži, u saobraćajnoj traci u kojoj je u kolovozu urezana induktivna detektorska petlja, a zatim na konzolni stub nosač lanterni montirani detektor sa tehnologijom na bazi termalne kamere i video detektor. Snimanje je sprovedeno tokom više nedelja. Izvršena je kvantifikacija dobijenih rezultata za dvadesetčetvoročasovni period, a zatim je izvršeno upoređivanje vremena nastanka detekcija. Za sva neslaganja u vremenu (trenuci detekcije koji nisu bili istovetni) izvršen je pregled video snimaka i došlo se do sledećih podataka.

Različiti brojevi stvarnih i prijavljenih detekcija za sve tri metode mogu se objasniti nedostacima pojedinačnih metoda, npr. induktivne petlje ne mogu da registruju motocikle i bicikle, video detekcija u periodima smanjene vidljivosti može da propusti određene objekte i sl.

Tabela 1: Pouzdanost primene različitih tipova detekcije

| Metod snimanja                | Prijavljene detekcije | Lažne detekcije | Propuštene detekcije | Stvarne detekcije |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Induktivna detektorska petlja | 3882                  | 31              | 2                    | 3853              |
| Video analiza                 | 3842                  | 0               | 4                    | 3838              |
| Termalna kamera               | 3850                  | 5               | 19                   | 3864              |

#### 4 ZAKLJUČAK

Izrazito visoka pouzdanost, detaljnost, brzina i visok stepen automatizacije procesa snimanja saobraćajnog zahteva zasnovanog na video detekciji čini ovaj metod superiornim u odnosu na tradicionalan pristup saobraćajnim istraživanjima koja se obrađuju u *offline* režimu. Kod upravljanja saobraćajem u realnom vremenu, gde su podaci o saobraćaju neophodni u *online* režimu, sve navedene pogodnosti video detekcije podržane veštačkom inteligencijom čine je više nego konkurentnom alternativom detekciji saobraćaja zasnovanoj na induktivnim petljama u kolovozu.

#### LITERATURA

- [1] Savrasovs, M; Pticina, I (2016). Methodology of OD Matrix Estimation Based on Video Recordings and Traffic Counts; 16th Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, Riga, Latvia
- [2] VTC USER MANUAL, ROADOMETRY INC <https://roadometry.com>

#### SUMMARY

### **Application of IT and NN for efficient traffic demand acquisition**

*Abstract: Conscientious preparation of traffic studies and projects should be based on extensive research into the characteristics of traffic demand on the traffic network. Today, advanced information technology and artificial intelligence tools have made it possible to automatically record and process the necessary data on the characteristics of traffic flows in a very short period of time, if needed online, with appropriate spatial coverage and details, on the very large sample, and with a distinct accuracy. By using camera from drone and software based of artificial intelligence for video data processing, reliable data is obtained on the traffic volume, the flows composition for standard or specific categories of vehicles, the O-D matrix, and other relevant parameters. The paper presents an approach to video detection and traffic counting, which was applied in a Video Traffic Counts application completed for commercial use.*

*Key words: traffic research, O-D matrix, video detection, artificial intelligence*