https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673955223/TESi.2026.07

Razvoj i implementacija softvera za detekciju vozila zasnovan na obradi video zapisa[8]

Anđela Lazarević, ELCOM BGD DOO, andjela.lazarevic@elcombgd.rs
Dragomir Leković, ELCOM BGD DOO, dragomir.lekovic@elcombgd.rs
Stefan Mladenović, ELCOM BGD DOO, stefan.mladenovic@elcombgd.rs

Rezime: Video detektovanje vozila predstavlja savremenu metodu prikupljanja i analize saobraćajnih podataka zasnovanu na primeni video kamera i specijalizovanog softvera za obradu i interpretaciju video zapisa. Zahvaljujući kontinuiranom razvoju veštačke inteligencije i metoda mašinskog učenja, značajno su unapređene mogućnosti automatske obrade video sadržaja, čime je omogućeno dobijanje velikog broja relevantnih podataka o karakteristikama saobraćajnog toka. U odnosu na tradicionalne sisteme detekcije, video sistemi obezbeđuju veću fleksibilnost primene i istovremeno praćenje više parametara saobraćaja.

Primena video detekcije omogućava detekciju prisustva vozila u definisanim zonama interesa, klasifikaciju vozila prema različitim kategorijama, kao i procenu gustine saobraćaja i identifikaciju formiranja redova vozila. Pored toga, moguće je određivanje brzine kretanja vozila, praćenje njihovih trajektorija u vidnom polju kamere i analiza obrazaca kretanja. Analizom prethodno snimljenih video zapisa u offline režimu omogućeno je određivanje izvorno-ciljnih (IC) matrica, koje predstavljaju važan izvor podataka za potrebe planiranja, modeliranja i upravljanja saobraćajem. Video materijal može poticati iz različitih izvora, poput stacionarnih kamera, mobilnih uređaja ili dronova. Takođe, video detekcija nalazi primenu u sistemima sa promenljivom organizacijom saobraćaja, gde omogućava automatsko određivanje smera kretanja vozila i kontrolu funkcionisanja traka sa izmenjivim smerom kretanja. Zbog navedenih karakteristika, video detekcija predstavlja jednu od ključnih tehnologija savremenih inteligentnih transportnih sistema.

Cilj rada je predstavljanje softvera, razvijenog za potrebe automatske obrade video zapisa sa kamera. U radu će biti prikazana arhitektura sistema, princip rada i funkcionalnosti dostupne u režimu obrade video sadržaja u realnom vremenu (online režim) i naknadne analize prethodno snimljenog materijala (offline režim), sa posebnim osvrtom na mogućnosti primene dobijenih rezultata.

Ključne reči: video detekcija vozila, saobraćajni tok, softver za obradu video zapisa

1 UVOD

Obrada video zapisa predstavlja osnovu razvijenog softverskog sistema za automatsku detekciju i analizu saobraćaja. U zavisnosti od načina prikupljanja i dostupnosti video materijala, obrada se realizuje u realnom vremenu (online režim) ili kao naknadna obrada prethodno snimljenog materijala (offline režim). Iako se oba režima zasnivaju na istom

[8] CC-BY licenca

osnovnom principu izdvajanju objekata od interesa iz pojedinačnih frejmova, određivanju njihove pozicije i praćenju kretanja kroz vidno polje kamere, razlikuju se po nameni i vrsti podataka koje obezbeđuju.

Online režim je prvenstveno usmeren na operativno upravljanje saobraćajem: cilj mu je kontinuirano praćenje učesnika u saobraćaju i dobijanje osnovnih pokazatelja neposredno tokom realizacije saobraćaja. Offline režim, s druge strane, omogućava detaljniju analizu već prikupljenog materijala, uključujući i izdvajanje složenijih podataka, poput izvorno-ciljnih matrica, koji zahtevaju naknadnu obradu i drugačiji način snimanja. U radu su predstavljena oba razvijena sistema, sa osvrtom na funkcionalnosti, ograničenja i njihovu komplementarnu ulogu u saobraćajnom inženjerstvu.

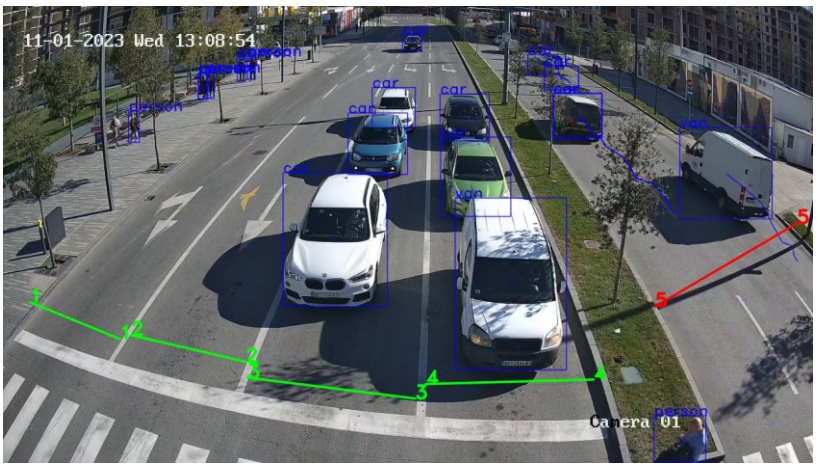
2 OBRADA VIDEO ZAPISA

Oba sistema, online i offline, zasnivaju se na istom softverskom jezgru za detekciju, klasifikaciju i praćenje objekata u snimku. Njihova razlika ne proizlazi iz drugačijeg pristupa obradi slike, već iz trenutka u kojem se obrada vrši i hardverske platforme na kojoj se izvršava, što je detaljnije razmotreno u poglavlju 3.

2.1 Detekcija i klasifikacija vozila

Nezavisno od režima obrade, softver omogućava automatsku detekciju vozila unutar definisanih zona interesa, čime se utvrđuje da li je posmatrani deo saobraćajne površine trenutno zauzet. Za razliku od induktivnih petlji, koje daju informaciju o prolasku vozila kroz jednu fiksnu tačku, video detekcija omogućava posmatranje šireg područja i definisanje više zona unutar jednog video prikaza, bez potrebe za intervencijom na kolovozu [1].

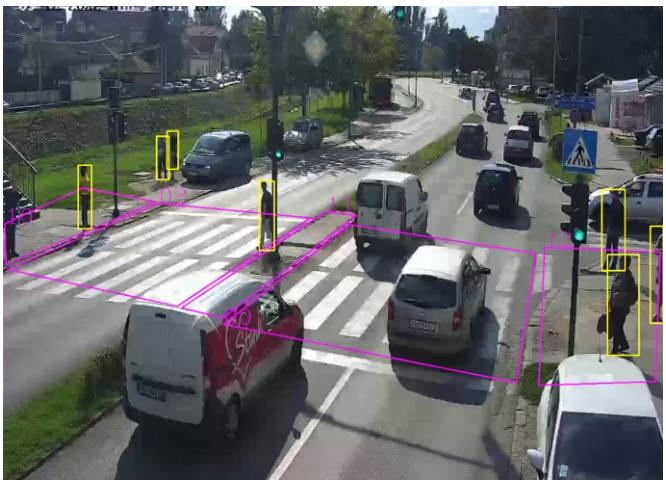
Pored same detekcije, sistem omogućava i klasifikaciju vozila prema kategorijama, čime se dobija uvid u strukturu saobraćajnog toka. Na osnovu detekcije i klasifikacije mogu se odrediti osnovni pokazatelji poput broja vozila u posmatranom periodu i njihove strukture, nezavisno od toga da li se ova analiza vrši u trenutku snimanja (online) ili naknadno, nad sačuvanim materijalom (offline). Razlika između dva režima postaje značajna tek kada se ovim podacima doda vremenska dimenzija kretanja, odnosno praćenje objekata kroz uzastopne frejmove.



Slika 1. Detekcija sa automatskim određivanjem klase vozila

2.2 Detekcija pešaka

Pored vozila, sistem omogućava i detekciju pešaka, uključujući njihov broj, položaj i kretanje kroz definisane zone interesa. Pored pojedinačne detekcije, moguće je prepoznavanje grupa pešaka, kao i razlikovanje pojedinih kategorija učesnika, poput dece, čime se dobijaju podaci značajni sa aspekta bezbednosti i opsluživanja pešačkih tokova.



Slika 2. Detekcija pešačkih tokova

2.3 Praćenje objekata

Praćenje objekata predstavlja postupak povezivanja detekcija istog objekta kroz uzastopne frejmove, čime se izolovane, pojedinačne detekcije pretvaraju u kontinuiranu putanju kretanja. Na ovome se zasniva svaki dalji podatak koji zahteva vremensku dimenziju kao što su brzina, smer kretanja, vreme zadržavanja ili trajektorija.

Kod online sistema, domet je ograničen vidnim poljem jedne kamere postavljene na prilazu raskrsnice (radi pouzdanosti detekcije), što je dovoljno za brzinu, dužinu reda i vreme zadržavanja, ali ne i za određivanje manevra kroz raskrsnicu. Kod offline sistema, domet se proširuje prostorno, kroz kompozitno povezivanje više kamera, ili optički, kroz snimak iz ptičje perspektive koji obuhvata čitavu raskrsnicu jednim kadrom čime praćenje prerasta u punu trajektoriju i osnovu za IC matricu.

2.4 Online obrada

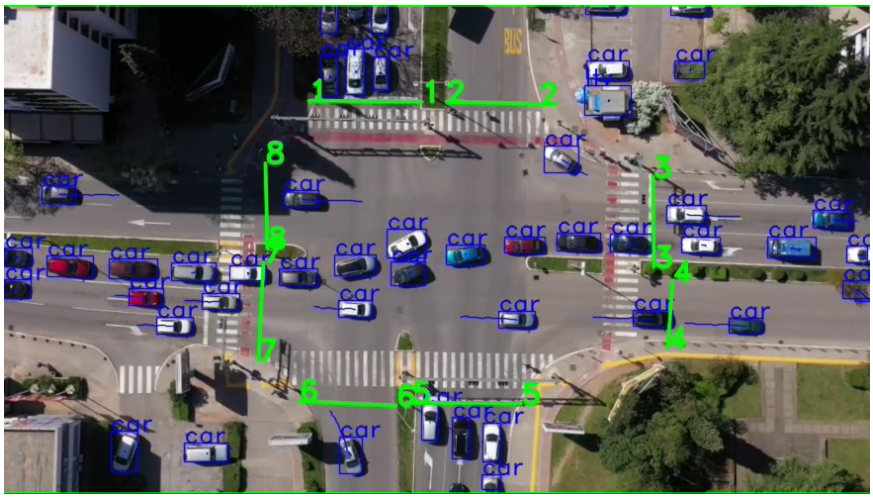
Zahvaljujući praćenju objekata u okviru dometa koji pokriva prilaz raskrsnice, online sistem u realnom vremenu dobija brzinu kretanja vozila, dužinu i vreme zadržavanja u redu čekanja - podatke koji predstavljaju direktan ulaz u projektovanje sistema adaptibilnog upravljanja saobraćajem. Pošto domet ne obuhvata centar raskrsnice, ovi pokazatelji ostaju ograničeni na pojedinačni prilaz, a manevar vozila kroz raskrsnicu online sistemom se ne može odrediti.

2.5 Offline obrada

Prošireni domet praćenja offline sistem ostvaruje na dva načina - snimanjem iz ptičje perspektive, najčešće dronom, ili kompozitnim snimkom sa više stacionarnih kamera. Izbor pristupa zavisi od uslova na lokaciji, raspoložive infrastrukture i dužine perioda koji

je potrebno analizirati; oba pristupa imaju svoje prednosti i ograničenja. Za razliku od online obrade, materijal se u oba slučaja može analizirati više puta i različitim parametrima, što dodatno povećava vrednost jednom prikupljenog snimka.

Prednost snimanja iz ptičje perspektive je što jedna kamera obuhvata celu raskrsnicu, pa i širu mrežu, bez potrebe za povezivanjem podataka iz više izvora, a ugao snimanja omogućava jasno razlikovanje manevara vozila i precizno praćenje putanje [2]. Lokacija snimanja se lako prilagođava, jer nije vezana za postojeću infrastrukturu. Glavno ograničenje je vremenska autonomija leta, koja određuje trajanje neprekidnog snimanja i period za koji se IC matrica može dobiti u jednom prolazu, a takođe kvalitet snimka dodatno zavisi od vremenskih uslova. Zbog svega navedenog ovaj pristup nije pogodan za trajni, kontinuirani nadzor iste lokacije.



Slika 3. Snimak raskrsnice iz ptičje perspektive

Prednost kompozitnog snimka je mogućnost kontinuiranog, dugotrajnog snimanja bez ograničenja baterijom, uz korišćenje postojeće infrastrukture (stubovi, semafori). Time je posebno pogodan za trajni nadzor iste lokacije i ponovljenu analizu tokom dužeg perioda, kao i za urbane uslove u kojima snimanje dronom nije izvodljivo. Glavno ograničenje je što zahteva veći broj kamera, njihovo precizno pozicioniranje i kalibraciju, dok je povezivanje (re-identifikacija) vozila između kamera tehnički zahtevnije i podložnije greškama [3], posebno u "slepim zonama" između vidnih polja

3 UPOREDNI PREGLED ONLINE I OFFLINE REŽIMA OBRADE VIDEO ZAPISA

Razlika između online i offline režima ne proizlazi samo iz trenutka obrade, već i iz načina snimanja i pozicioniranja kamera, prilagođenih različitoj nameni svakog sistema. Kod online sistema, kamere su postavljene na prilazima raskrsnice radi postizanja veće pouzdanosti detekcije, što obezbeđuje brz odziv potreban za operativno upravljanje, ali onemogućava obuhvatanje centralnog dela raskrsnice i, samim tim, rekonstrukciju kompletne putanje vozila. Offline sistem, naprotiv, koristi snimak iz ptičje perspektive ili kompozitni snimak sa više kamera kako bi obezbedio potpuniju prostornu sliku raskrsnice, po cenu odloženog vremena obrade.

Ista razlika u nameni odražava se i na hardversku implementaciju. Online sistem, zahvaljujući manjoj računskoj zahtevnosti po kameri, može raditi na ugrađenoj (embedded) platformi do 8 kamera pri 10 FPS za samostalno, lokalizovano rešenje po raskrsnici, ili na serverskoj konfiguraciji sa grafičkom karticom, gde je moguća obrada i do 200 kamera istovremeno, za centralizovan nadzor većeg broja lokacija. Offline obrada, usled zahtevnijih operacija, pre svega povezivanja i praćenja vozila između više kamera i kroz duže periode, izvršava se isključivo na serverskoj konfiguraciji sa grafičkom karticom. Sličan dvoslojni pristup, sa odvojenim modulom za rad u realnom vremenu na uređajima ograničenih resursa i modulom za naprednu offline analizu na serverskoj infrastrukturi, opisan je i u [4].

Online režim je stoga pogodniji za operativne primene — kontinuirani nadzor, detekciju prisustva i osnovne pokazatelje saobraćajnog toka u realnom vremenu, dok offline režim ima ključnu ulogu u planiranju i analizi saobraćajne potražnje, prevashodno kroz određivanje IC matrice i rekonstrukciju trajektorija. Ova dva režima ne treba posmatrati kao međusobno isključiva, već kao komplementarne mogućnosti istog sistema.

Tabela 1. Poređenje online i offline režima obrade video snimka

Pokazatelj	***Online***	***Offline***
Detekcija i klasifikacija vozila	*da*	*da*
Brzina, red čekanja, incidenti na prilazu	*da*	*ograničeno (zavisi od snimka)*
IC matrica, pune trajektorije kroz raskrsnicu	*ne*	*da*
Trenutak dostupnosti podataka	*odmah*	*naknadno*
Mogućnost ponovljene analize istog snimka	*ne*	*da*
Hardverski zahtevi	*embedded ili GPU server*	*isključivo GPU server*

4 ZAKLJUČAK

Primena sistema za automatsku obradu video zapisa značajno proširuje mogućnosti prikupljanja saobraćajnih podataka. Tradicionalni sistemi detekcije najčešće su namenjeni registrovanju prolaska vozila na unapred definisanoj tački ili merenju određenog broja parametara. Video sistemi, sa druge strane, omogućavaju prostorno i vremenski obuhvatniju analizu, pri čemu se iz istog video materijala može izdvojiti više različitih vrsta podataka.

Poseban značaj predstavlja mogućnost objedinjavanja podataka o detekciji, klasifikaciji i kretanju vozila. Takav skup podataka može imati primenu u različitim oblastima saobraćajnog inženjerstva. Podaci se mogu koristiti za određivanje saobraćajnog opterećenja, analizu strukture tokova, procenu korišćenja saobraćajnih traka, analizu pešačkih tokova, određivanje putanja vozila, formiranje izvorno-ciljnih matrica i pripremu podataka za saobraćajne modele.

U tom smislu, razvijeni softver predstavlja platformu koja povezuje proces prikupljanja video materijala sa procesom automatske ekstrakcije saobraćajnih podataka.

Njegova primena omogućava da se neobrađeni video zapis transformiše u strukturirane informacije koje se mogu dalje analizirati, vizuelizovati i koristiti u procesu saobraćajnog planiranja i upravljanja. Upravo mogućnost kombinovanja različitih načina snimanja, režima obrade i vrsta izlaznih podataka predstavlja osnovu za široku primenu video detekcije u savremenim inteligentnim transportnim sistemima.

LITERATURA

[1] S. Sivaraman, M. M. Trivedi, "Looking at Vehicles on the Road: A Survey of Vision-Based Vehicle Detection, Tracking, and Behavior Analysis," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, no. 4, pp. 1773–1795, 2013.

[2] G. Salvo, L. Caruso, A. Scordo, G. Guido, A. Vitale, "Traffic Data Acquirement by Unmanned Aerial Vehicle," European Journal of Remote Sensing, vol. 50, no. 1, pp. 343–351, 2017.

[3] H.-M. Hsu, Y. Wang, J.-N. Hwang, "Traffic-Aware Multi-Camera Tracking of Vehicles Based on ReID and Camera Link Model," in Proc. 28th ACM International Conference on Multimedia (MM '20), Seattle, WA, USA, 2020, pp. 964–972.

[4] M. F. Şen, H. Gümüşkaya, Ş. Pazar, "Video Detector: A Dual-Phase Vision-Based System for Real-Time Traffic Intersection Control and Intelligent Transportation Analysis," arXiv:2603.14861, 2026.

SUMMARY

Development and implementation of video-based vehicle detection software

Abstract: Vehicle video detection represents a modern method of collecting and analyzing traffic data based on the use of video cameras and specialized software for the processing and interpretation of video recordings. Owing to the continuous development of artificial intelligence and machine learning methods, the capabilities for automated video content processing have been significantly enhanced, enabling the acquisition of a large amount of relevant data on traffic flow characteristics. Compared to traditional detection systems, video-based systems provide greater flexibility in application while simultaneously monitoring multiple traffic parameters.

The application of video detection enables the detection of vehicle presence within defined zones of interest, vehicle classification according to different categories, as well as the estimation of traffic density and identification of vehicle queue formation. In addition, it is possible to determine vehicle speeds, track their trajectories within the camera's field of view, and analyze movement patterns. The analysis of previously recorded video footage in offline mode enables the determination of origin-destination (OD) matrices, which represent an important source of data for traffic planning, modeling, and management purposes. Video material may originate from various sources, such as stationary cameras, mobile devices, or drones. Video detection is also applicable in systems with variable traffic organization, where it enables the automatic determination of vehicle movement directions and the control of lanes with reversible traffic flow. Due to these characteristics, video detection represents one of the key technologies of modern intelligent transportation systems.

The aim of this paper is to present software developed for the purpose of automated processing of video recordings from cameras. The paper presents the system architecture, operating principle, and functionalities available for real-time video content processing (online mode) and subsequent analysis of previously recorded material (offline mode), with particular emphasis on the potential applications of the obtained results.

Keywords: vehicle video detection, traffic flow, video processing software