

Практична фузија улаза (камера и LiDAR сензор) за надзор саобраћаја: препознавање, праћење и бројање

Practical Camera–LiDAR Fusion for Roadside Traffic Monitoring: Detection, Tracking, and Counting

Слађана Симић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – РАЧУНАРСТВО И АУТОМАТИКА

Кратак садржај – У раду је представљен практичан систем фузије камера–LiDAR сензор за надзор друмског саобраћаја. Предложени ток обраде спаја 2D препознавања са панорамских снимака и 3D облак тачака ради поузданијег издвајања возила. Систем обухвата издвајање панорама из E57 формата, примјену YOLO детектора, прорјеђивање облака тачака и филтрирање тачака које просторном пројекцијом одговарају препознатим возилима.

Кључне речи: фузија сензора, камера–LiDAR сензор, YOLO, препознавање возила

Abstract – These work presents a practical camera–LiDAR fusion system for monitoring road traffic. The proposed pipeline combines 2D detections from panoramic images with 3D point clouds to achieve more reliable vehicle extraction. The system includes panorama generation from E57 data, YOLO-based detection, point-cloud downsampling, and spatial filtering of points corresponding to detected vehicles.

Keywords: sensor fusion, camera–LiDAR, YOLO, vehicle detection

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Ненад Четић.

1. УВОД

Надзор друмског саобраћаја представља важан елемент савремених система за планирање, анализу и управљање саобраћајем. Поуздано прикупљање података о кретању и густини саобраћаја омогућава боље разумијевање протока возила, као и благовремено уочавање потенцијално ризичних ситуација на путној инфраструктури. Да би се такви подаци добили, системи надзора морају бити у стању да тачно препознају, прате и преброје возила у различитим и често сложеним условима.

У реалним сценаријима надзора јављају се бројни изазови, као што су промјене освјетљења, временски услови, сложена структура сцене и међусобно заклањање возила. Класични системи засновани искључиво на камерама често имају ограничења у таквим условима, посебно када је ријеч о поузданој

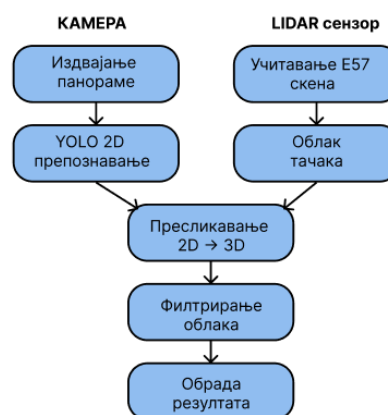
процјени растојања и просторним односима између објеката. Камере обезбјеђују богат визуелни приказ и омогућавају добру класификацију типова возила, али су осјетљиве на сјенке, одсјаје и услове слабог освјетљења [1,2].

LiDAR сензори, с друге стране, пружају прецизне просторне информације и вјерно описују геометрију сцене, независно од услова освјетљења, али имају ограничења у семантичком препознавању објеката. Због комплементарних карактеристика ова два сензора, фузија камера и LiDAR сензора све више се користи као практично рјешење у системима надзора саобраћаја [1-3].

Комбиновањем 2D информација са камере и 3D просторних података из LiDAR сензора добија се робуснији систем који омогућава поузданије издвајање возила у сложеним условима саобраћаја [3,4].

Циљ овог рада је да прикаже практичан поступак фузије података добијених са камере и LiDAR сензора за надзор друмског саобраћаја. У раду је описан ланац обраде који обухвата издвајање панорамских снимака из E57 формата, примјену YOLO модела за препознавање возила, као и пројекцију резултата 2D препознавања у 3D простор ради филтрирања облака тачака. Добијени филтрирани 3D подаци служе као основа за праћење трајекторија и бројање возила [4,5].

2. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМА



Слика 1. Дијаграм тока процеса

Методологија предложеног система заснива се на фузији 2D препознавања добијених са панорамских снимака и 3D података из облака тачака LiDAR сензора ради издвајања тачака које припадају возилима. Поступак обухвата кораке од припреме E57 снимака до праћења и бројања возила (Слика 1).

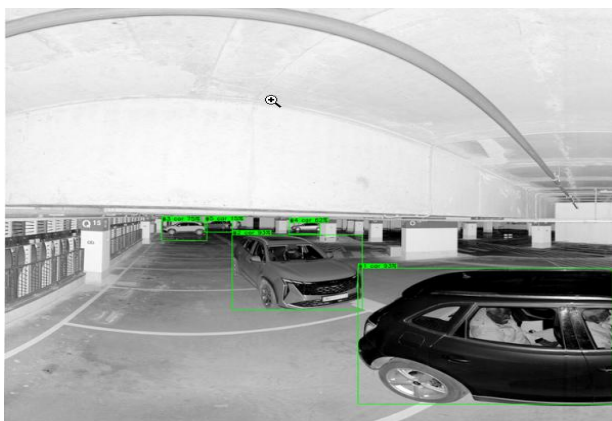
2.1. Припрема података

Улазни подаци у овом систему добијени су из E57 формата, који се у пракси често користи за чување снимака са LiDAR сензора јер омогућава да се у једном фајлу сачувају просторне координате тачака, као и додатни атрибути попут интензитета, боје и сферних углова. Управо се сферни углови користе у каснијој пројекцији, чиме се између панорамске слике и 3D облака тачака остварује директна веза без потребе за додатном калибрацијом. Први корак у обради представља издвајање панорамске слике из E57 записа, која обезбјеђује потпуни 360° приказ сцене и служи као улаз за 2D препознавање возила.

Паралелно са издвајањем панораме учитава се и облак тачака из исте датотеке, након чега се примјењује вокселско прорјеђивање којим се број тачака смањује задржавањем по једне представничке тачке по вокселу, чиме се убрзавају наредни кораци као што су филтрирање, праћење и бројање возила.

2.2. Препознавање возила у 2Д домену

Након припреме података и генерисања панорамске слике из E57 снимка, препознају се возила у 2D домену. У овом раду за препознавање је коришћен YOLO модел, који је познат по томе да у једној итерацији кроз мрежу истовремено локализује и класификује објеката. Због добре равнотеже између тачности и брзине извршавања, YOLO модели се често користе у системима надзора и реалновременске перцепције саобраћаја [5]. Примјена овог приступа на панорамским снимцима омогућава добијање стабилних резултата препознавања возила и у сценама са већом густином саобраћаја, што је у складу са резултатима приказаним у сродним радовима [1-3].



Слика 2. YOLO 2D препознавање возила на панорами добијеној из E57 фајла

Примјер резултата 2D препознавања возила на панорамској слици приказан је на Слици 2, гдје су возила означена граничним оквирима.

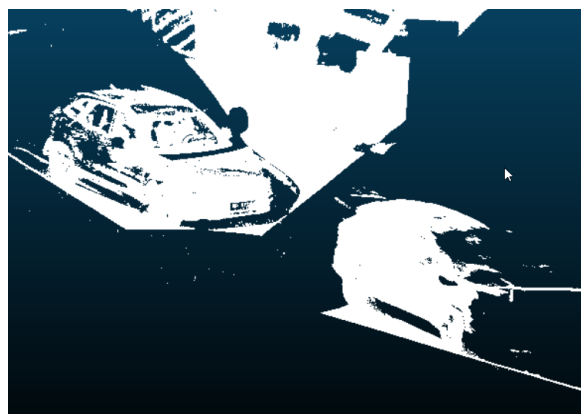
Резултат препознавања чине гранични оквири који описују положај возила, уз пратеће информације о класи објекта и поузданости препознавања, а ти подаци се чувају у структурисаном облику и представљају директан улаз за наредни корак, односно пројекцију резултата 2D препознавања у 3D простор.

2.3. Пројекција и филтрирање 3D тачака

Након добијања граничних оквира возила у 2D домену, следећи корак је њихово просторно повезивање са 3D облаком тачака. Информације о положају возила са панорамске слике користе се за издвајање одговарајућих тачака LiDAR сензора у 3D простору, чиме се остварује фузија 2D и 3D података. Овакви приступи просторне асоцијације камере и LiDAR сензора широко су заступљени у системима надзора саобраћаја и показали су се ефикасним у смањењу количине нерелевантних података [1,3].

Сваком граничном оквиру на панорами одговара одређени угаони опсег у 3D простору, дефинисан азимутом и елевацијом. На основу ових опсега филтрира се облак тачака, при чему се задржавају само оне тачке чији угаони положај упада у подручје препознатих возила, док се остале тачке елиминишу. На овај начин уклања се већина тачака које припадају тлу и околној инфраструктури, што је у складу са приступима коришћеним у сродним LiDAR-заснованим системима препознавања и праћења возила [3,4].

Филтрирањем облака тачака добија се компактнији и информативнији скуп података који просторно одговара појединачним возилима у сцени. Овако издвојени 3D подаци представљају поуздану основу за наредне кораке праћења трајекторија и бројања возила, јер значајно смањују количину нерелевантних тачака и побољшавају стабилност даље обраде [4].



Слика 3. Филтрирани 3D облак тачака: задржане су тачке које припадају препознатим возилима

Примјер филтрираног 3D облака тачака, у којем су задржане само тачке возила, приказан је на Слици 3. Визуелна провјера оваквих резултата омогућава додатну контролу квалитета и потврђује исправност поступка фузије података.

2.4. Чување резултата

Након пројекције и филтрирања 3D тачака добија се подскуп облака тачака LiDAR сензора који садржи искључиво тачке које припадају препознатим

возилима. Овако издвојени подаци представљају резултат фузије 2D и 3D информација и служе као основа за даље кораке анализе, прије свега праћење трајекторија и бројање возила. Филтрирани облак тачака чува се у E57 и PCD форматима. E57 формат омогућава очување комплетних просторних информација и компатибилан је са даљом анализом и обрадом података LiDAR сензора, док PCD формат обезбјеђује једноставну визуелизацију и брзу провјеру квалитета издвајања у стандардним алатима за рад са облацима тачака.

2.5. Праћење возила

Након што су из облака тачака издвојене тачке које припадају возилима, следећи корак је повезивање резултата препознавања кроз вријеме ради праћења кретања сваког појединачног возила. Циљ праћења је повезивање резултата препознавања у узастопним фрејмовима ради формирања трајекторија кретања. Праћење се заснива на просторном повезивању резултата препознавања у 3D простору, при чему се резултати у два узастопна кадра повезују ако су међусобно довољно близу. Овакав приступ омогућава очување континуитета трајекторија и у ситуацијама краткотрајних пропуста у препознавању, који се јављају услед заклањања, промјене угла или повећане густине саобраћаја. Добијене трајекторије представљају основу за даље кораке анализе, а прије свега за поуздано бројање возила, јер омогућавају јасну идентификацију пролазака кроз дефинисане зоне или линије у сцени.

2.6. Бројање возила

Бројање возила заснива се на анализи трајекторија и евидентирању пролазака возила кроз унапријед дефинисане виртуелне линије или зоне у простору. Када трајекторија возила пресјече задату линију у одређеном смјеру, тај догађај се региструје као један пролаз.

Да би се избјегло дупло бројање, за води рачуна о већ евидентираним проласцима, тако да исти објекат може бити регистрован само једном по линији. Овакав приступ, који се ослања на континуитет трајекторије, омогућава стабилно и поуздано бројање у различитим сценаријима, укључујући случајеве са више трака и повећаном густином саобраћаја.

3. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА

Тестирање предложеног система спроведено је на серијама снимака добијеним са фиксне сензорске поставке на реалним локацијама. У свим тестним случајевима панораме су успјешно генерисане из E57 записа, YOLO модел је препознавао возила са стабилним граничним оквирима, а након 2D→3D пројекције и угловног филтрирања издвојени су компактни 3D облаци тачака који одговарају структурама возила. Визуелна провјера резултата у PCD и E57 формату потврдила је поуздану просторну изолацију препознатих возила.

Тестни скуп обухвата укупно 48 случајева, 2521 фрејм, 326 јединствених возила и 99 пролазака кроз зону

бројања. Сценарији су подијељени у пет група које одражавају различите услове саобраћаја и перцепције, укључујући варијације у густини саобраћаја, присуство заклањања и отежане услове посматрања. Основна статистика по групама сценарија приказана је у Табели 1, која показује уравнотежену заступљеност различитих типова сцена у анализи.

Табела 1. Преглед сценарија

Сценарио	Број случајева	Број узорака	Број возила
Мала густина	10	430	46
Средња густина	10	509	64
Висока густина	10	541	88
Оклузије и интеракције	10	554	72
Изазовни сценарији	8	487	56
Укупно	48	2521	326

Резултати препознавања анализирани су упоређивањем са референтним анотацијама при чему су одређени тачно позитивни, лажно позитивни и пропуштене резултати препознавања. На нивоу целокупног скупа података систем је остварио 4617 тачно позитивних, 78 лажно позитивних и 824 пропуштених резултата препознавања. Перформансе су оцјењене коришћењем стандардних метрика: прецизност и одзив, док F1 мјера представља њихову комбинацију. AvgIoU мјери преклапање између препознатих и референтних региона, MOTA означава тачност праћења више објеката, а CntAcc тачност бројања возила. Из добијених вриједности израчунате су метрике прецизности, одзива и F1 мјере, док је просторна тачност додатно потврђена високом просјечном IoU вриједношћу.

Резултати по појединачним групама сценарија приказани су у Табели 2. Најбоље перформансе остварене су у сценаријима са малом густином саобраћаја, гдје су возила јасно просторно раздвојена и нема израженог међусобног заклањања. У овим условима систем показује стабилно праћење и високу тачност бројања. Са порастом густине саобраћаја уочава се постепен пад одзива и стабилности праћења, док прецизност препознавања остаје висока кроз све сценарије.

Највећи изазов за систем представљају сценарији са заклањањем и интеракцијама возила. У оваквим условима долази до чешћих губитака идентитета током праћења, што се директно одражава на ниже MOTA вриједности и смањену тачност бројања, како је приказано у Табели 2. Ови резултати указују да је заклањање кључни фактор деградације перформанси система, прије свега у сегменту праћења.

Сценарији са отежаним условима перцепције показују нешто боље понашање у односу на сценарије са израженим заклањањем, али је и даље присутан пад одзива и стабилности праћења.

Табела 2. Резултати по сценаријима

Сценарио	Прецизност	Одзив	F1 мјера	AvgIoU	MOTA	CntAcc
Мала густина	0.9956	0.9496	0.9720	0.9512	0.9391	1.0000
Средња густина	0.9852	0.8911	0.9358	0.8984	0.8530	0.9474
Висока густина	0.9780	0.8403	0.9039	0.8625	0.7744	0.9000
Оклузије и интеракције	0.9794	0.8100	0.8867	0.8658	0.7179	0.8649
Изазовни сценарији	0.9890	0.8354	0.9057	0.8506	0.7733	0.9474

То указује да неповољни услови посматрања и смањен квалитет улазних података углавном утичу на континуитет трајекторија, док је само препознавање возила у већој мјери очувано.

У цјелини посматрано, добијени резултати показују да предложени систем веома поуздано рјешава препознавање и просторну локализацију возила у различитим условима саобраћаја. Главна ограничења повезана су са праћењем у сложеним сценама, што се затим директно одражава и на тачност бројања. Ипак, резултати потврђују да је систем већ у садашњем облику употребљив за практичне системе надзора саобраћаја, уз јасан простор за даље унапређење робусности праћења.

4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду представљен је практичан приступ фузији камера и LiDAR сензора за потребе надзора друмског саобраћаја. Комбиновањем резултата 2D препознавања са панорамских снимака и 3D информација из облака тачака постигнуто је поузданије издвајање возила у поређењу са коришћењем само једног сензорског модалитета. Филтрирање засновано на просторним угловима омогућава задржавање само релевантних тачака, чиме се поједностављују и унапређују даљи кораци праћења и бројања.

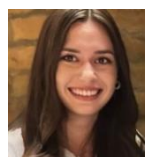
Предложени поступак ослања се на јасно дефинисан и модуларно организован ланац обраде, од генерисања панораме и YOLO препознавања до пројекције, филтрирања и чувања резултата у E57/PCD форматима. Такав приступ омогућава лаку контролу квалитета и адаптацију параметара различитим условима саобраћајних сцена, укључујући повећану густину саобраћаја и присуство заклањања.

Резултати потврђују да фузија сензора доприноси стабилнијем и поузданијем надзору возила, што је посебно значајно у системима за аутоматско бројање и анализу протока саобраћаја. Као правци будућег рада издвајају се унапређење праћења, класификација типова возила на основу 3D карактеристика и оптимизација система за рад у реалном времену.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. Sochaniwsky et al., „*A Camera–LiDAR Fusion Framework for Traffic Monitoring*”, IEEE ITEC, 2024. Доступно: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10598852>. Приступљено: Feb. 2026.
- [2] L. Wang, Y. Huang, „*LiDAR–camera fusion for road detection using a recurrent CRF model*”, Scientific Reports, 2022. Доступно: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-14438-w.pdf>. Приступљено: Feb. 2026.
- [3] A. Ansari, B. R. Kadali, „*Real-time traffic data collection using roadside LiDAR: a novel background filtering approach*”, Innovative Infrastructure Solutions, 2025. Доступно: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-025-02284-4>. Приступљено: Feb. 2026.
- [4] C. Lin, G. Sun, D. Wu, C. Xie, „*Vehicle Detection and Tracking with Roadside LiDAR Using Improved ResNet18 and the Hungarian Algorithm*”, Sensors, vol. 23, no. 19, 2023. Доступно: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/19/8143>. Приступљено: Feb. 2026.
- [5] L. Huang, W. Huang, „*RD YOLO: An Effective and Efficient Object Detector for Roadside Perception Systems*”, Sensors, vol. 22, no. 21, 2022. Доступно: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/21/8097>. Приступљено: Feb. 2026.

Кратка биографија:



Слађана Симић рођена је у Ужицу 2000. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Рачунарства у аутоматике – Аутомобилски софтвер одбранила је 2026.год.

Контакт:sladjana.virijevic00@gmail.com