

**Alexander Albert**

Service Engineer

Albert.alexander@siemens.com

**Peter Sassenhagen**

Computer Vision Experte

Peter.sassenhagen.ext@siemens.com

**Johannes Lutz**

BIM Process Manager

Johannes.lutz@siemens.com

**Dr.-Ing. Christoph Schütze**

BIM Manager

Schuetze.christoph@siemens.com

Dr.techn. Christof Hoppe

Computer Vision Experte

Christof.hoppe@siemens.com

UDK: 004.8+625.1

1. Uvod

Osnova svakog projektiranja jesu kvalitetni i cjeloviti ulazni podaci. To osobito vrijedi za željezničku infrastrukturu koja je karakteristična po velikome broju različitih objekata i uređaja od kritične važnosti za sigurnost prometa (npr. signalno-sigurnosni uređaji). Osim informacija o vrstama pojedinih elemenata za uspješno projektiranje ključni su i točni podaci o njihovom položaju, odnosno drugi atributi relevantni za danu vrstu projektiranja.

POVEĆANJE UČINKOVITOSTI U MODELIRANJU POSTOJEĆE INFRASTRUKTURE METODAMA UMJETNE INTELIGENCIJE (AI)

Rad je objavljen u stručnom časopisu DER EISENBAHNINGENIEUR 3/24 i Signal & Draht 08/2024

Radi učinkovite obrade podataka i modeliranja infrastrukture razvija se poluautomatski proces za kvalitetno mapiranje željezničke mreže. Na temelju najsuvremenijih algoritama umjetne inteligencije razvijen je sustav koji omogućuje prepoznavanje do 145 različitih elemenata željezničke infrastrukture. Umjetna inteligencija, kao što je to pokazano projektima, ima ogroman potencijal za poboljšanje točnosti i učinkovitosti modeliranja postojeće infrastrukture., te dobiveni podaci čine čvrstu osnovu za projektiranje, održavanje i širenje kako željezničke, tako i tramvajske mreže.

Preduvjet za pripremu ulaznih podataka jest temeljita geodetska izmjera pruga, što se odražava i u zahtjevima za pružnu opremu ETCS razine 2 na mreži njemačke željeznice DB Netz AG (smjernica DB 819.1343 [1]). Nakon terenskog snimanja slijede obrada dobivenih podataka i modeliranje postojeće infrastrukture, uključujući, među ostalim, lociranje, identifikaciju i atribuciju objekata u blizini pruge. Ti podaci čine osnovu za izradu multidisciplinarnog, objektno orijentiranog modela. Zbog repetitivne prirode i zahtjeva za visokom pouzdanošću taj se proces može znatno unaprijediti primjenom metoda umjetne inteligencije.

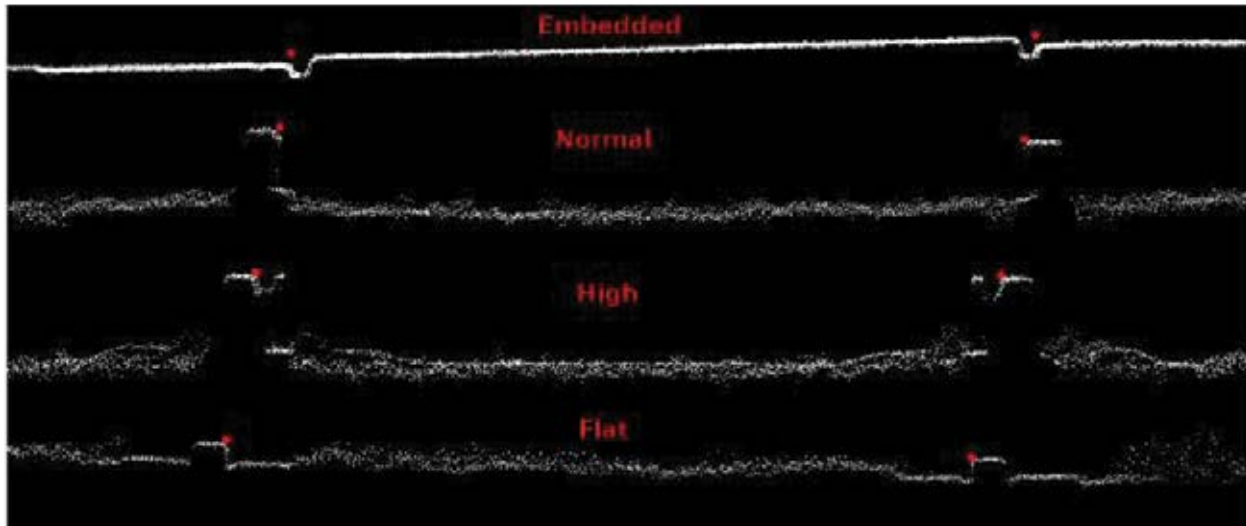
2. Primjena metoda umjetne inteligencije za povećanje učinkovitosti obrade

Radi učinkovite obrade mobilnih kartografskih podataka razvijen je poluautomatski proces s obradom slika i strojnim učenjem (ML) za automatizaciju što većeg broja zadataka prepoznavanja. Svaki projekt digitalnog snimanja postojećeg stanja temelji se na identifikaciji objekata kao što su signali i skretnice tena određivanju točne trase kolosijeka. Kao osnova za ovdje predstavljene metode upotrebljavaju se podaci dobiveni mobilnim 3D laserskim skenerom (*Trimble MX9*) koji generira panoramske slike od 360 stupnjeva i visokoprecizan 3D LIDAR oblak točaka s točnim geolokacijskim podacima.

Automatsko prepoznavanje trase kolosijeka

Cilj je bio razviti sustav za potpuno autonomno prepoznavanje trase kolosijeka s visokopreciznom kolosiječnom osi, bez ljudske intervencije. Uz podatke dobivene iz LIDARa u tu je svrhu i dalje potrebna okvirna trasa prijednog kolosijeka (npr. u obliku GPS putanje MMS sustava). Sustav u redovitim intervalima duž zadane putanje generira dvodimenzionalni poprečni presjek oblaka točaka koji omogućuje jasnu identifikaciju tračnica (slika 1.a). Ta metoda, za razliku od poluautomatiziranih alata koji samo prate liniju ili pokušavaju prepoznati oblik tračnica pomoću CAD modela, primjenjuje tehnologiju strojnog učenja. Prednost je toga ne samo robusniji proces prepoznavanja, već i istodobna identifikacija različitih profila tračnica u željezničkim i tramvajskim mrežama.

Na temelju uzoraka slika na kojima su glave tračnica prvo ručno označavali ljudi metoda samostalno uči razlikovati dijelove slike s glavama tračnica od onih bez njih (slika 1.b). Budući da ta metoda omogućuje samo pronalaženje potencijalnih područja tračnica na slici, bez određivanja točnog profila, za se drugi korak (slika 1.c) primjenjuje regresijska metoda na temelju strojnog učenja koja pomoću snimljenog područja s glavom tračnice određuje točan položaj unutarnjeg ruba tračnice.



a) 2D slike poprečnih presjeka različitih vrsta tračnica



b) Okvirna identifikacija područja na slici s tračnicama. Visina zelene linije služi kao pokazatelj vjerojatnosti da se na tom mjestu nalazi tračnica.

c) Određivanju približne lokacije tračnice (točka b) u sljedećem koraku slijedi točno lociranje tračničkog profila, iako nije vidljiv, rub desne tračnice može se pouzdano procijeniti umjetnom inteligencijom.

Slika 1. Prepoznavanje tračnica Izvor: Siemens Mobility GmbH

Rezultat tih koraka jest definirani unutarnji rub tračnice za svaki dvodimenzionalni presjek. Sa svrhom detekcije i uklanjanja lažnih pozitiva te premošćivanja kraćih prekida bez prepoznatih tračnica razvijena je i robusna interpolacijska metoda za matematički prikaz kolosijeka koja, među ostalim, omogućuje i izravno određivanje radijusa zavoja odnosno uzdužnih nagiba.

Za obuku obaju ML algoritama ručno je anotirano oko 10 km njemačke tramvajske mreže. Kako bi se osigurala reprezentativnost na taj način dobivenog skupa podataka, prilikom izrade posebno se vodilo računa o tome da je obuhvaćeno dovoljno tračnica svih poznatih profila.

Opisana metoda može se primjenjivati i za tramvajske i za željezničke pruge. Osim tračnica na kojima se izvodi snimanje, ta metodom omogućuje i prepoznavanje drugih tračnica na udaljenosti do 12 metara te je koncipirana tako da osigurava neovisnost o širini kolosijeka.

Budući da nisu korištene nikakve pretpostavke o minimalnim ili maksimalnim radijusima zavoja odnosno dopuštenim nadvišenjima, metoda se može primijeniti i na tramvajske kolosijeke i na kolosijeke pruga velikih brzina.

Metoda trenutačno podržava automatsko prepoznavanje do 99 posto prijedanih kilometara pruge. Prepoznavanje susjednih kolosijeka ponajprije ovisi o njihovoj vidljivosti, što znači da prepoznavanje nije moguće ako su zaklonjeni peronom ili vlakom. Zato se za mapiranje cijele mreže, uključujući eventualno nedostajuće dionice, upotrebljava i tradicionalni poluautomatski alat.

3. Automatsko prepoznavanje elemenata željezničke infrastrukture

Osim prepoznavanja trase za projektiranje je važan i položaj objekata u blizini kolosijeka. Tehnički su za lociranje tih objekata relevantna sljedeća dva aspekta:

1. prepoznavanje relevantnih elemenata na slikama
2. lociranje elemenata u geodetskom koordinatnom sustavu.

Posljednjih godina došlo je do iznimnog napretka u tehnologijama automatskog prepoznavanja objekata na snimljenim slikama. Na temelju najsuvremenijih algoritama umjetne inteligencije razvijen je sustav koji omogućuje prepoznavanje do 145 različitih elemenata željezničke infrastrukture. U početnoj fazi razvoja sustava trebalo je provesti detaljnu ručnu anotaciju slika te svaki relevantni objekt označavati pravokutnikom i odgovarajućim nazivom. Nakon toga je na temelju anotiranih slika uvježban najsuvremeniji model prepoznavanja objekata.

Uvježbani model omogućuje dvodimenzionalno prepoznavanje objekata na snimljenim slikama. U drugome dijelu, na slikama s prepoznatim objektima se pomoću oblaka točaka određuju odgova-

rajuće trodimenzionalne geokoordinate. Točke umetanja specifičnih kategorija objekata određuju se u skladu s danim zahtjevima. Na kraju se provodi i inteligentno filtriranje šumova u podacima.

Filtriranje podataka nadopunjeno je daljnjim metodama analize za izbjegavanje dvostruke detekcije iz različitih nizova slika.

4. Primjena modela umjetne inteligencije u projektima željezničke i tramvajske infrastrukture

4.1. Leipzig: učinkovito modeliranje postojeće tramvajske infrastrukture

Modeliranje postojećeg stanja i izmjera slobodnog profila u tramvajskome sustavu od ključne su važnosti za projektiranje kolosiječnih sustava te osiguranje njihove sigurnosti i učinkovitosti. Ovdje predstavljene metode umjetne inteligencije uspješno su primijenjene u sklopu projekta u Leipzigu, gdje su znatno unaprijedile postojeće radne procese. (1)

Taj projekt uključivao je modeliranje postojeće mreže tramvajskih pruga u Leipzigu ukupne duljine 146 kilometara i s 314 kilometara kolosijeka. Početna faza projekta obuhvatila je snimanje cijele mreže MMS sustavom. Kombiniranjem podataka iz oblaka točaka prikupljenih različitim mjernim vožnjama postignuta je relativna točnost preciznija od 1 cm.

Osim glavnih tramvajskih linija projekt je uključivao pet različitih depoa.

Glavni je zadatak bio stvoriti detaljnu poligonsku mrežu s preciznim prikazom položaja lijevih i desnih tračnica na cesti. Prikazana metoda primijenjena je za određivanje točnih položaja tračnica, uključujući njihove osi. Nakon toga je izrađena poligonska mreža poslužila kao osnova za dokumentiranje trase tračnica i provjeru slobodnog profila, uključujući eventualne kolizije u 3D prostoru (radi sprečavanja zadiranja nove tramvajske flote u slobodni profil).

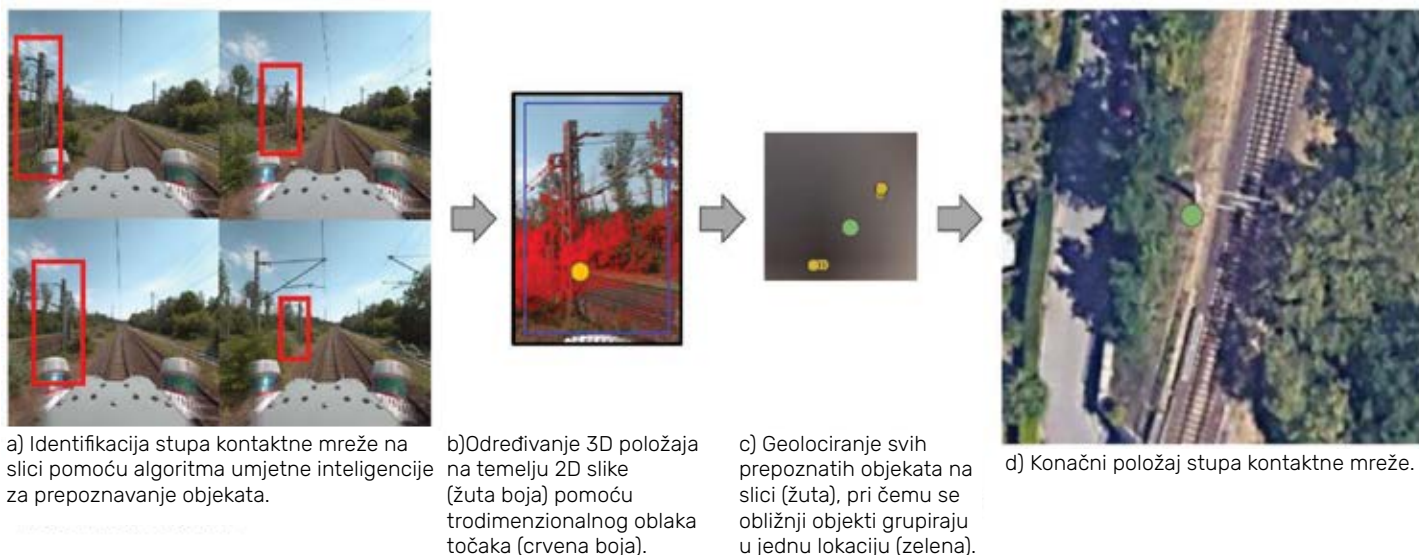
Za provjeru točnosti dobivenih osi kolosijeka na više mjesta u željezničkoj mreži udaljenost između osi ručno je izmjerena i uspoređena s rezultatima automatskih mjerenja. Pritom se pokazalo da je razlika u redu veličine relativne točnosti oblaka točaka (tj. 1 cm). Primjena opisane metode za prepoznavanje tračnica dovela je do znatnog povećanja učinkovitosti i gotovo deseterostrukog smanjenja radnog opterećenja u odnosu na postojeća komercijalna rješenja za poluautomatsko prepoznavanje tračnica. Najveće povećanje učinkovitosti postignuto je upravo u najsloženijim kolosiječnim situacijama (npr. u depoima). Također je utvrđeno da je primjenom umjetne inteligencije postignuta neusporedivo veća preciznost u praćenju unutarnjeg ruba tračnice. Umjetna inteligencija, kao što je to pokazao projekt u Leipzigu, ima ogroman potencijal za poboljšanje točnosti i učin-

kovitosti modeliranja postojeće tramvajske infrastrukture. Dobiveni podaci čine čvrstu osnovu za projektiranje, održavanje i širenje tramvajske mreže te pomažu u osiguravanju sigurnosti i učinkovitosti lokalnoga javnog prijevoza.

4.2. Željeznica: iskustva u Njemačkoj i u svijetu

Konvencionalni pristup projektiranju željezničke infrastrukture temelji se na nizu iterativnih ciklusa (tzv. obavijesti o promjenama) u kojima svi sudionici projekta, od projektanata, preko proizvođača, upravitelja do regulatornih tijela, moraju proći kroz opsežne postupke testiranja i certificiranja. To je proces koji predstavlja velik izazov, kako financijski tako i vremenski, te često dovodi do produljenja roka početka radova. Uvođenjem pouzdanijih i učinkovitijih procesa smanjuje se utjecaj nepredviđenih okolnosti i vjerojatnost odstupanja od ionako kratkih rokova za projektiranje modernizacijskih zahvata. Točni i precizni podaci o postojećemu stanju ključni su za smanjenje ne samo broja iterativnih ciklusa uzrokovanih netočnim informacijama, već i neželjenih odstupanja od vremenskih okvira tijekom ugradnje.

Uvođenje gore opisanih postupaka umjetne inteligencije posljednjih je godina dovelo do znatnog poboljšanja pojedinih procesa. *Siemens Mobility* je uz pomoć MMS sustava snimio više od 4500 kilometara pruga u Njemačkoj i



Izvor: Siemens Mobility GmbH

Slika 2. Automatsko prepoznavanje i lociranje elemenata željezničke infrastrukture

obradio ih pomoću umjetne inteligencije. Izdvajanje osi i trase kolosijeka pomoću umjetne inteligencije omogućilo je vremensku uštedu od najmanje 50 posto u usporedbi s konvencionalnom poluautomatskom anotacijom. Osim toga primijenjene metode za prepoznavanje objekata umjetnom inteligencijom i njihov kontinuirani daljnji razvoj omogućili su znatno jednostavniju izradu ažurne projektne dokumentacije izvedenih radova. (2)

Veliki izazov predstavlja heterogenost potreba, odnosno zahtjeva, naručitelja i korisnika koji su često suprotstavljeni i koji variraju ovisno o projektu, regiji, korištenim sučeljima i formatima. U tu svrhu razvijen je proces „poboljšanja” podataka na temelju umjetne inteligencije i naknadne poluautomatske obrade u skladu s pripadajućim zahtjevima. Taj pristup ima velike prednosti u odnosu na konvencionalni proces projektiranja željezničke infrastrukture, posebno signalno-sigurnosnih uređaja, jer omogućuje dosljedno digitalno prikupljanje informacija od samog početka projekta. Osim visokopreciznoga skaliranog situacijskog nacrtu projektanti imaju mogućnost korištenja 3D oblaka točaka prekrivenog snimljenim slikama za izravno stvaranje lokalizirane slike izvedenog stanja. Taj lokacijski neovisni i na mreži temeljeni pristup omogućuje pregleda-

vanje informacija za danu situaciju u bilo kojemu trenutku te prikupljanje dodatnih informacija za daljnje izvedbeno projektiranje.

Korištenjem povratnih petlji u modelu umjetne inteligencije nove informacije doprinose kontinuiranome optimiranju algoritama, povećavajući pritom kvalitetu i točnost prepoznavanja. Kontinuirano poboljšanje podataka omogućeno je usporedbom s uvezenim podacima naručitelja o izvedenome stanju. Posebno u svjetlu sve šire primjene BIM metodologije, uspostava standardiziranih podatkovnih sučelja omogućit će neprekidni tijek informacija od faze prikupljanja podataka o postojećemu stanju do puštanja objekta u pogon, obuhvaćajući pritom ne samo faze grubog i detaljnog projektiranja, već i montaže i primopredaje. Kontinuirani protok informacija u kombinaciji sa standardiziranim procesom upravljanja podacima čini osnovu za izradu „digitalnog blizanca” željezničke infrastrukture, što otvara nove mogućnosti za unapređenje željezničkog prometa.

5. Zaključak

MMS sustav jest učinkovit alat za prikupljanje podataka o postojećoj infrastrukturi u cilju poboljšanja procesa projektiranja tramvajske i željezničke

infrastrukture. Međutim, mnoge druge prednosti i poboljšanja mogu se postići samo daljnjom obradom izmjerenih podataka, naprimjer, izmjerom slobodnog profila, određivanjem osi kolosijeka i prepoznavanjem objekata.

Dosadašnja rješenja podržavala su samo djelomičnu automatizaciju tih procesa, oslanjajući se pritom na specifične softverske alate. Primjenjujući različite pristupe strojnog učenja, *Siemens Mobility* razvio je metode umjetne inteligencije koje omogućuju znatno povećanje razine automatizacije. Te se metode mogu koristiti za generiranje objektno usmjerenih modela koji ne samo da nude znatnu dodanu vrijednost u odnosu na klasično projektiranje na papiru, već omogućuju kontinuiranu naknadnu primjenu tijekom svih faza projektiranja i izgradnje.

Dugoročno gledano, to će omogućiti inteligentno upravljanje imovinom te, na temelju odgovarajućih algoritama umjetne inteligencije, primjenu naprednog prediktivnog održavanja odnosno inteligentnog upravljanja prometom. Osim što će se time ubrzati proces projektiranja, to će dovesti do učinkovitije uporabe željezničke infrastrukture.

<https://www.mobility.siemens.com/hr/en.html>

LITERATURA

- [1] DB Netz AG: Richtlinie 819.1343 LST-Anlagen planen
- [2] Grundsätze zur Erstellung der Entwurfsplanung zur Ausrüstung von Strecken mit ETCS Level 2 (2021-11-24)

SAŽETAK

POVEĆANJE UČINKOVITOSTI U MODELIRANJU POSTOJEĆE INFRASTRUKTURE METODAMA UMJETNE INTELIGENCIJE (AI)

Tijekom izmjere željezničke infrastrukture pomoću mobilnih sustava mapiranja (MMS – Mobile Mapping System) nastaju ogromne količine podataka koji se koriste u različitim fazama projektiranja. Umjetna inteligencija danas nailazi na sve češću primjenu u brojnim područjima i zato je njezina primjena logična i u visokosloženim sustavima poput željezničke i druge prometne infrastrukture. U ovome radu opisana je primjena umjetne inteligencije radi znatnog poboljšanja učinkovitosti pri obradi podataka vezanih uz tračničku infrastrukturu, što je neophodno za njezino kvalitetno projektiranje.

Ključne riječi: sustav mapiranja MMS, umjetna inteligencija, prometna infrastruktura, obrada podataka

Kategorizacija: stručni rad

SUMMARY

INCREASING EFFICIENCY IN MODELING EXISTING INFRASTRUCTURE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) METHODS

While measuring railway infrastructure by using mobile mapping systems (MMS – Mobile Mapping System), great amounts of data is generated, which is used in various design phases. Artificial intelligence is increasingly being used in numerous fields today, which is why its application is also logical in highly complex systems, such as railway and other transport infrastructure. This paper describes the application of artificial intelligence for the purposes of significantly improving efficiency while processing data related to rail infrastructure, which is essential for its high-quality design.

Key words: Mobile Mapping System MMS, artificial intelligence, transport infrastructure, processing data

Categorization: professional paper