

DinBus: Dinamično načrtovanje avtobusnih poti

Ekipa Doner Kezz

Aleksander Kalacun
FERI, Univerza v Mariboru

Val Sajko
FRI in FMF, Univerza v Ljubljani

Matevž Petek
FERI, Univerza v Mariboru

Uvod

Javni prevoz je temelj decentralizirane družbe, ki enakovredno vključuje tudi podeželje. Ta vloga se odraža tudi v njegovih širših družbenih učinkih:

- Javni prevoz je okolju prijaznejši (120-180 g CO_2 /km pri osebnem avtomobilu v primerjavi s 30–80 g CO_2 /km na potnika v avtobusu, kar pomeni 3- do 5-krat manj emisij) [3]
- varnejši (približno 90% manjše tveganje za smrtne nesreče: 2-3 smrtne žrtve na milijardo km v avtomobilu v primerjavi z 0.2–0.5 smrtne žrtve na milijardo km v avtobusu) [2]
- in do štirikrat cenejši (0,30–0,50 € na km v avtomobilu ter 0,08–0,20 € na osebo na km v avtobusu) [1].

Kljub temu javni medkrajevni avtobusni prevoz v EU dnevno uporablja le 7–9 % prebivalcev (v primerjavi z 80–83 % uporabnikov avtomobila) [4]. Razlogi so za to predvsem predolge vožnje, nezanesljivi prihodi ter redki in nepraktični vozni redi. V številnih primerih so te možnosti neustrezne, zato se ljudje odločijo za vožnjo z avtomobilom, ki ga lahko uporabijo kadar koli. Z boljšo organizacijo bi lahko občutno skrajšali čakalne čase in trajanje voženj ter sistem hkrati naredili predvidljivejši in robustnejši.

Opazimo, da je na povprečni medkrajevni avtobusni poti veliko postaj, na katerih potniki ne vstopijo ali izstopijo. Še več, te postaje so lahko zunaj glavne trase, zato je njihovo obiskovanje časovno in energijsko potratno. Stalnih tras, ki se spreminjajo le vsakih nekaj let in vključujejo tudi prazne postaje. Če bi lahko spreminjali poti na dnevni bazi, bi zadovoljili potrebe potnikov hitreje in učinkoviteje.

Rešitev problema

Naša rešitev predstavlja nov pristop k načrtovanju medkrajevnih poti; sproti (na dnevni bazi) prilagaja potek poti. Za to uporabimo optimizacijske algoritme umetne inteligence. Pomembno je, da naša rešitev ne spreminja obstoječe prometne infrastrukture. Temelji na predhodni rezervaciji poti. To spodbujamo s cenejšimi in hitrejšimi prevozi. Rezervacija bi potekala na mobilni aplikaciji, ki jo ponudniki kot so Marprom, Nomago, LPP ... že imajo in jih trenutno uporablja

veliko potnikov. Uporabnik preprosto izbere vstopno in izstopno postajo in okvirni čas, ko si želi vstopiti. Temu času se bomo želeli čim bolj približati. Pri zasnovi sistema DinBus razmišljamo o dveh možnih pristopih dinamičnega načrtovanja poti:

Prvi pristop temelji na **ohranjanju stalnih osnovnih tras**, ki jih nato glede na predhodne rezervacije sproti optimiziramo: avtobus ohrani glavno smer vožnje, vendar preskoči vmesne prazne postaje oziroma izvede manjše prilagoditve, če le te skrajšajo pot in čas vožnje. Prednost take rešitve je večja predvidljivost za potnike, lažja vključitev v obstoječi sistem javnega prevoza ter enostavnejša organizacija voznega reda. Vendar zaradi vezanosti na obstoječo strukturo poti pogosto ne dosežemo optimalnega rezultata, ki ga lahko doseže pristop brez teh omejitev.

Drugi pristop je **popolnoma dinamično izrisovanje novih poti**, kjer za vsak sklop rezervacij najdemo optimalno pot brez navezanosti na stalne linije. Takšna rešitev omogoča največjo možno prilagodljivost, boljši izkoristek vozil ter potencialno krajše in hitrejša povezave, vendar je bistveno zahtevnejša za izvedbo, manj predvidljiva za uporabnike in težje združljiva z obstoječo prometno infrastrukturo.

V praksi zato prvi pristop predstavlja bolj realistično in robustno rešitev za začetno uvedbo, drugega pa lahko razumemo kot naprednejšo dolgoročno vizijo ali kot primerjalni optimizacijski model v simulacijskem okolju.

Primer. *Recimo, da želimo opraviti pot med Trbovljem in Trebnjem ob 13. uri. Pot rezerviramo na aplikaciji nekaj ur prej (recimo ob 9-ih). Ker ta povezava ni obljudena, je ocenjen najbližji čas ob 12.40 in predvideno trajanje poti je 1h in 40min. Uporabnik je pravočasno pred odhodom obveščen o točni ocenjeni uri.*

Metodologija

Implementacija rešitve poteka v naslednjih korakih:

1. Na portalu **OPSI** bomo pridobili podatke o razporeditvi avtobusnih postaj v Sloveniji na strani *Register postaj in postajališč* [5]. Dodatno, bomo zasnovali svoj eksperiment, kjer bomo merili obiskanost postaj in pretok na postajah. Preprosto bomo en dan na več postajah šteli

vstopne in izstopne potnike (pri tem bomo pozorni, da ne bomo posegali v zasebnost ljudi).

2. Gradnja **simulacije** avtobusnega prometa: Na osnovi teh podatkov bomo zasnovali model, ki bo simuliral gibanja ljudi na avtobusnih postajah. Uporabili bomo programski jezik **Python**, saj nam omogoča uporabo knjižnic, kot so **networkx** in **numpy** za logiko simulacije in **Pygame** za vizualno predstavitev. **Digitalni dvojček** bo predstavljen kot graf, kjer je vsaka postaja vozlišče in vsaka pot povezava.
3. V okolju simulacije bomo zgradili algoritem umetne inteligence *diferencialna evolucija (DE)*. Za to bomo uporabili knjižnico **NiaPy**, ki jo razvija Inštitut za Informatiko na FERU UM.
4. Algoritem bomo prilagodili in testirali na velikih simulacijah, kjer bomo načrtovali za vse postaje v Sloveniji skupno. Ker je računska zahtevnost na tako velikem številu postaj ogromna, bomo uporabili **superračunalniško gručo**.
5. Naše podatke iz eksperimentov (ki jih bomo sami merili na postajah) in rezultate iz simulacij bomo javno objavili na **Zenodo**, saj je naš rezultatni podatkovni set lahko uporaben tudi za nove rešitve.
6. Našo notranjo rešitev bomo povezali v spletno infrastrukturo, kjer bomo razvili enostavno aplikacijo, ki bo ljudem omogočala rezervacijo poti. Aplikacija bo povezana na glavni strežnik, ki bo iz podanih informacij algoritem umetne inteligence začrtal nove avtobusne poti. Uporabnik bo obveščen o podrobnih informacijah na aplikaciji. Uporabili bomo ogrodja, kot je React in Express.
7. Našo kodo celotne rešitve bomo javno objavili na platformi **GitHub** za splošno javno uporabo in nadgrajevanje.

Predvideni rezultati in/ali težave

Pričakujemo polno funkcionalen algoritem, ki bo deloval na simulaciji in pravilno načrtoval poti. Kljub časovni stiski, bomo razvili vsaj enostaven prototip aplikacije in spletno infrastrukturo za komunikacijo z digitalnim dvojčkom prometa. Žal pa do konca Hackathona ne bomo mogli vpeljati aplikacije na resnično avtobusno omrežje, kaj šele razširitev na omrežje nad celotno Slovenijo. Vendar pa menimo, da je implementacija dober prvi korak za uvedbo tega koncepta v širšem obsegu.

UNESCO cilji

Naša rešitev neposredno naslavlja naslednja dva cilja trajnostnega razvoja [6]:

SDG 8: Dostojno delo in gospodarska rast

Rešitev podpira tudi SDG 8, saj izboljšuje učinkovitost mobilnosti, kar je ključno za gospodarski razvoj. Z izboljšanim

javnim prevozom:

- se poveča dostopnost delovnih mest (zlasti na podeželju),
- zmanjšajo stroški prevoza za posameznike,
- izboljša produktivnost zaradi krajših in bolj zanesljivih poti.

Ker je avtobusni prevoz tudi do štirikrat cenejši od uporabe osebnega avtomobila, rešitev prispeva k večji ekonomski dostopnosti mobilnosti in s tem povečanje gospodarske rasti.

SDG 13: Podnebni ukrepi

Z optimizacijo javnega prevoza:

- se poveča uporaba avtobusov,
- zmanjšajo emisije toplogrednih plinov,
- zmanjša energetska neučinkovitost (npr. vožnja skozi prazne postaje).

Ker avtobusni prevoz proizvede 3–5 krat manj emisij CO₂ na potnika kot osebni avtomobil, ima širša uporaba optimiziranega javnega prevoza neposreden pozitiven vpliv na zmanjšanje ogljičnega odtisa.

Literatura

- [1] European Automobile Manufacturers Association. *The Automobile Industry Pocket Guide 2023–2024*. Teh. poročilo. Brussels: ACEA, 2023. URL: <https://www.acea.auto>.
- [2] European Commission. *Road Safety in the European Union – Trends, statistics and main challenges*. Teh. poročilo. Brussels: European Commission, DG MOVE, 2023. URL: <https://transport.ec.europa.eu>.
- [3] European Environment Agency. *Transport and Environment Report 2022: Decarbonising road transport*. Teh. poročilo. Copenhagen: EEA, 2022. URL: <https://www.eea.europa.eu>.
- [4] Eurostat. *Passenger transport statistics – modal split*. Teh. poročilo. Luxembourg: Statistical Office of the European Union, 2023. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- [5] Ministrstvo za infrastrukturo. *Register postaj in postajališč*. Dostopano: 20. 03. 2026. URL: <https://podatki.gov.si/dataset/register-postaj-in-postajalisc>.
- [6] United Nations. *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://undocs.org/A/RES/70/1>. 2015.