

RAZVOJ SISTEMA ZA OCENJIVANJE I NAGRAĐIVANJE VOZAČA PRIMENOM IoT

Stefan Zdravković, Marko Stokić
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
s.zdravkovic@sf.bg.ac.rs, m.stokic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Koncept održivog transporta predstavlja glavnu temu u savremenim transportnim i logističkim sistemima, posebno u pogledu smanjenja troškova i emisija zagađujućih materija. Sistemi zasnovani na nagrađivanju vozača nude značajne prednosti u odnosu na tradicionalne pristupe, koji se često oslanjaju na represivne mere. Ovakvi sistemi mogu stvoriti negativnu atmosferu straha i otpora među vozačima, dok se sistemi nagrađivanja fokusiraju na motivisanje vozača da poštuju ograničenja brzine i voze ekonomično. Na taj način, vozači se podstiču da razvijaju odgovorne navike vožnje, što ujedno smanjuje rizik od nezgoda. Rad istražuje i analizira postojeće sisteme nagrađivanja vozača, analizirajući efikasnost vožnje, motivaciju vozača, identifikujući ključne pravce za njihov dalji razvoj. Zasnovan na primeni internet stvari (IoT), u radu je dat predlog sistema ocenjivanja i nagrađivanja vozača na osnovu njegovog načina upravljanja vozilom. Dodatni doprinos ovog istraživanja ogleda se u pronalaženju dugoročne strategije koja motiviše vozače, usmeravajući se na održiv razvoj i prilagodljivost u brzo menjajućem poslovnom okruženju.*

Ključne reči: *sistemi nagrađivanja vozača, evaluacija vožnje, IoT*

1. Uvod

Način upravljanja vozilom predstavlja jedan od ključnih faktora koji direktno utiče na eksploataciju vozila i troškove transportnih kompanija. Neodgovoran, odnosno agresivan način upravljanja vozilom, koji karakterišu nagla ubrzanja i usporenja, nepredvidivi manevri, prekoracenja brzine, neadekvatna promena stepena prenosa i slično, dovodi do povećane potrošnje goriva, većeg trošenja komponenti vozila i češćih pojava otkaza vozila. Dodatno, agresivni stil vožnje povećava rizik od saobraćajnih nezgoda, što rezultira većim troškovima osiguranja i štetama na imovini. Zbog navedenih negativnih posledica, transportne kompanije teže implementaciji strategija koje promovisu bezbedno, odgovorno i energetske efikasno ponašanje vozača. U skladu s tim, Elias [2] je istakao da kombinacija finansijskih podsticaja, kontinuiranog praćenja ponašanja vozača i pružanja povratnih informacija u realnom vremenu doprinosi značajnom povećanju bezbednosti na putevima. Pentland i Šmueli [3] navode da i individualni i grupni modeli podsticaja pozitivno utiču na ponašanje vozača, pri čemu individualni pristup daje nešto bolje rezultate. Ova istraživanja ukazuju na to da pažljivo osmišljeni sistemi nagrađivanja, koji kombinuju materijalne i nematerijalne podsticaje, mogu doprineti smanjenju operativnih troškova, povećanju efikasnosti i poboljšanju bezbednosti u transportnim kompanijama. Osim toga, pravilno koncipirani podsticaji mogu umanjiti stres s kojima se vozači suočavaju i smanjiti sklonost ka rizičnim načinima upravljanja vozilom čime poboljšale njihove ukupne bezbednosne performanse.

Međutim, razvoj ovakvih sistema suočava se sa izazovima kao što su tačnost i transparentnost algoritama koji ocenjuju ponašanje vozača. Ukoliko vozači ne razumeju kriterijume prema kojima se njihova vožnja ocenjuje, može doći do smanjenja poverenja u sistem i njegovu legitimnost. Takođe, efekat nematerijalnih podsticaja često nije dovoljno izražen, a prekomerno oslanjanje na represivne mere umesto pozitivnih podsticaja može smanjiti motivaciju i izazvati negativan efekat kod vozača [4].

U cilju prevazilaženja ovih ograničenja, u nastavku rada predložen je sistem nagrađivanja vozača zasnovanog na primeni IoT. Predloženi model u cilju objektivne evaluacije načina vožnje kao ulazne podatke koristi broj obrtaja motora, ubrzanje/usporenje, pritisak na pedal gasa i vreme koje vozač provede upravljajući vozilom na ekonomičan način. Ovi podaci se obrađuju u realnom vremenu i koriste za izračunavanje ocene vozača na osnovu kojih se dodeljuju nagrade vozačima.

2. Primena IoT u sistemima nagrađivanja vozača

Razvoj informacionih tehnologija, sa posebnim akcentom na internet stvari (engl. Internet of Things - IoT), doveo je do transformacije pristupa u evaluaciji ponašanja vozača. IoT tehnologije omogućavaju prikupljanje velikog broja podataka iz okruženja i vozila, što predstavlja osnovu za implementaciju inteligentnih sistema koji analiziraju ponašanje vozača na osnovu čega se dodeljuju bonifikacije [5].

Sistemi koji se zasnivaju na IoT arhitekturi obuhvataju integraciju različitih senzorskih modula kao što su GPS uređaji, akcelerometri, žiroskopi, kamere, radari, kao i pristup internoj mreži vozila putem elektronske kontrolne jedinice. Prikupljeni podaci se odnose na ključne parametre vožnje, uključujući brzinu, učestalost naglog kočenja i ubrzavanja, način skretanja, poštovanje saobraćajnih pravila, kao i upotrebu mobilnog telefona tokom vožnje [6]. Ovi podaci se u inicijalnoj fazi obično obrađuju na nivou samog vozila, odnosno putem tzv. edge computing pristupa, čime se omogućava pravovremena reakcija u slučaju prepoznavanja rizičnog ponašanja. U narednim fazama, podaci se prosleđuju ka lokalnim serverima (engl. *fog computing*), a zatim i ka udaljenim *cloud* sistemima, gde se sprovode kompleksne analize korišćenjem algoritama mašinskog učenja i veštačke inteligencije [7].

Brzina obrade informacija od izuzetnog je značaja, naročito u kontekstu bezbednosno-kritičnih događaja. Reakcija sistema mora imati trenutni odziv kako bi se obezbedilo blagovremeno upozorenje vozaču ili aktivacija automatskih zaštitnih mehanizama. Zahvaljujući navedenim tehnološkim rešenjima, ponašanje vozača može se ocenjivati u realnom vremenu, a rezultati se koriste kao osnova za dodelu stimulativnih nagrada.

Jedan od primera takve implementacije jeste sistem koji koristi kombinaciju IoT uređaja i blockchain tehnologije kako bi omogućio transparentno evidentiranje i raspodelu nagrada vozačima koji se ponašaju u skladu sa bezbednosnim smernicama. U okviru eksperimentalne primene u okruženju plotunske vožnje, odnosno vožnje u konvoju (engl. *vehicle platooning*), vozači se ocenjuju na osnovu održavanja odgovarajuće udaljenosti i koordinacije s drugim vozilima u koloni, pri čemu se nagrađuju tokenima u digitalnom novčaniku [8].

Dalji napredak u domenu IoT komunikacija ostvaruje se kroz primenu koncepta V2X (engl. *Vehicle-to-Everything*), koji uključuje komunikaciju između vozila (engl. *Vehicle-to-Vehicle* - V2V), kao i komunikaciju vozila sa elementima infrastrukture (engl. *Vehicle-to-Infrastructure* - V2I). V2V komunikacija omogućava razmenu informacija u pogledu brzine, geolokacije i rastojanja između vozila, čime se unapređuje koordinacija i smanjuje rizik od sudara. S druge strane, V2I komunikacija obezbeđuje razmenu informacija između vozila i elemenata saobraćajne infrastrukture, kao što su semafori, saobraćajni znaci i centri za upravljanje saobraćajem [9]. U praksi, mnoge komercijalne platforme već integrišu ove tehnologije u svakodnevno poslovanje. Sistemi kao što su Geotab, Verizon Connect i

Fleet Complete pružaju mogućnost detaljne analize stila vožnje kroz kontinuirano praćenje podataka, a određene osiguravajuće kuće koriste ove informacije kao osnovu za prilagođavanje cena polisa, nagrađivanje bezbednih vozača ili preporuke za korektivne treninge [10]. Slično tome, sistemi za pomoć na putu, kao što su OnStar ili Tesla Roadside Assistance, koriste IoT infrastrukturu za dijagnostiku u realnom vremenu i automatsku aktivaciju pomoći u slučaju saobraćajne nezgode, čime dodatno doprinose opštoj sigurnosti i efikasnosti sistema.

Empirijska istraživanja potvrđuju da primena IoT tehnologije u sistemima nagrađivanja ima pozitivan efekat na ponašanje vozača. Integracijom povratnih informacija i mehanizama za nagrađivanje dolazi do značajnog smanjenja rizičnih ponašanja, povećanja svesti o bezbednosti i motivacije za odgovorno upravljanje vozilom [11]. Međutim, za uspešnu primenu ovih sistema neophodno je rešiti izazove vezane za privatnost podataka, pouzdanost senzora kojim se prikupljaju podaci i objektivnost sistema za nagrađivanje [12].

3. Sistem ocenjivanja i nagrađivanje vozača

Savremene IoT tehnologije pružaju infrastrukturnu osnovu za izgradnju sistema koji može kontinuirano da prikuplja, prenosi i analizira podatke vozačevog ponašanja u realnom vremenu. U najvažnije parametre kojima se ocenjuje eko-vožnja ubrajaju se broj obrtaja motora (RPM), pritisak na pedal gasa, ubrzanje/usporavanje, kao i procenat vremena koji vozač provede upravljajući vozilom na ekonomičan način (u nastavku teksta: eko-vreme). Ovi parametri se prikupljaju pomoću IoT modula povezanih sa elektronskom kontrolnom jedinicom na vozilu, a zatim se putem NB-IoT, LTE ili 5G mreže prenose u centralni oblak u kom se vrši obrada prikupljenih podataka kroz faze filtriranja, normalizacije i analize pomoću tip-2 fuzzy logičkog modela. Tip-2 fuzzy logika se pokazala naročito pogodnom jer omogućava kreiranje „nejasnih“ granica koje postoje između klasa (npr. između „umerenog“ i „agresivnog“ ubrzanja), što doprinosi pravednijoj oceni vozača.

Za potrebe istraživanja korišćeno je kombi vozilo *Renault Master* sa pogonom na dizel. Putem OBD-II porta direktnim čitanjem sa elektronske kontrolne jedinice vozila se prikupljaju: broj obrtaja motora (r_{rpm}), položaj pedale gasa (p_{pg}) i ubrzanje (a_{acc}). Korišćenjem standardizovanih PID komandi omogućava se eksternim IoT ili telematičkim uređajima da pristupe internim parametrima vozila. Ocena vožnje predstavlja kombinovani indeks koji izražava efikasnost vožnje i pridržavanje principa eko-vožnje. Računa se na osnovu prikupljenih parametara vožnje i eko-vremena. Vozač se u svakom trenutku nalazi u eko-zoni ako se svi parametri nalaze unutar definisanih intervala.

Podaci se tokom vožnje prikupljaju i prenose u sloj obrade u oblaku, nakon čega se u realnom vremenu pružanju povratne informacije vozaču. Sem toga rezultati se agregiraju na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou. Matematička formulacija predloženog modela se može predstaviti sledećom formulom:

$$OcenaVožnje = w_1 \cdot f_{rpm} + w_2 \cdot f_{ppg} + w_3 \cdot f_{acc} + w_4 \cdot f_{ekoVreme} \quad (1)$$

gde su:

- f_{rpm} - funkcija pripadnosti za broj obrtaja motora (usvojeno 1500–2500 rpm)
- f_{ppg} - funkcija pripadnosti za pritisak pedale gasa (usvojeno 20–40%)
- f_{acc} - funkcija pripadnosti za prosečno ubrzanje (usvojeno $-1,0$ do $1,5 \text{ m/s}^2$),
- $f_{ekoVreme}$ - procenat vremena vožnje u eko-zoni,
- w_1, w_2, w_3, w_4 - ponderi koji odražavaju relativni značaj svakog parametra.

Funkcije pripadnosti f_i se definišu kao normalizovane vrednosti u intervalu [0,1], pri čemu je 1 idealna, a 0 najlošija vrednost. Na primer, ako vozač većinu vremena održava

obrta je motora između 1500 i 2500 rpm, njegova vrednost f_{rpm} biće između 0,8 i 1. Nasuprot tome, česte oscilacije iznad 3500 rpm snižavaju tu vrednost ispod 0,3.

$$f_{ekoVreme} = \begin{cases} 1 & \text{ako je } ekoVreme \geq 80\% \\ 0,5 + 0,5 \times \frac{ekoVreme - 50}{30} & \text{ako je } 50\% \leq ekoVreme < 80\% \\ 0 & \text{ako je } ekoVreme < 50\% \end{cases} \quad (2)$$

Na osnovu analize literature [5,13] kao i praktičnih primera u voznim parkovima, za posmatrano vozilo, može se videti da sistem najviše vrednuje trajanje eko-vožnje ($w_4 = 0,30$), zatim brzinu rada motora i pritisak na pedal gasa ($w_1 = w_2 = 0,25$), dok najmanju težinu ima parametar ubrzanja/usporenja ($w_3 = 0,20$).

Nakon izračunavanja svih komponenti, sistem kombinuje vrednosti u jedinstvenu ocenu vožnje na skali od 0 do 5:

Tabela 1. Granice ocenjivanja i interpretacija

Klasa	Opseg ocene vožnje	Opis ponašanja
Zelena	4,5-5,0	Izuzetno efikasna i stabilna vožnja, optimalna potrošnja goriva
Žuta	3,5-4,49	Umerena vožnja sa povremenim odstupanjima
Crvena	<3,5	Agresivna ili neujednačena vožnja, visoka potrošnja goriva i emisije gasova

Predložene granice imaju ilustrativni karakter, a mogu se prilagoditi za konkretno vozilo. U zavisnosti od dugoročnih ciljeva kompanije na osnovu prosečnih ocena vožnje formiraju se nagrade, koje mogu biti pojedinačne i grupne. Pojedinačne mogu biti: mesečni bonus, tj. dodatak na platu u iznosu od 5% - 10% za taj mesec, dodatni slobodan dan koji kompanija poklanja kao znak zahvalnosti za ekonomičnu vožnju, mogućnost biranja rute ili novijeg vozila. Grupne nagrade bi podrazumevale tim vozača koji u određenom periodu (npr. tri meseca) ima najmanju prosečnu potrošnju goriva po kilometru i najveći procenat vožnji u eko-zoni, osvaja kompanijski izlet, zajednički ručak ili sportski dan o trošku kompanije.

4. Diskusija i budući pravci

Integracijom parametara kao što su broj obrtaja motora, pritisak pedale gasa, prosečno ubrzanje i procenat vremena provedenog u eko-zoni, omogućeno je formiranje jedinstvenog indeksa – *Ocene vožnje*. Na taj način, ocenjivanje prestaje da bude subjektivno, a proces nagrađivanja dobija jasno definisane, merljive kriterijume. Predloženi sistem demonstrira da se kroz upotrebu IoT arhitekture može ostvariti dvosmerna komunikacija između vozila i centralne platforme, čime se omogućava obrada i analiza podataka u realnom vremenu. Ovakav pristup doprinosi bržem prepoznavanju neekonomičnih i rizičnih ponašanja, ali i trenutnom pružanju povratnih informacija vozaču. Time se ponašanje koriguje dok je vožnja još u toku, što dugoročno vodi ka stvaranju održivih obrazaca vožnje. Dodatno, model nagrađivanja baziran na kombinaciji pojedinačnih i grupnih stimulansa pokazuje se kao posebno efikasan u transportnim kompanijama, jer kombinuje individualnu odgovornost i timsku koheziju.

U praksi, predloženi sistem ima višestruke koristi: smanjuje potrošnju goriva, produžava životni vek vozila i njegovih komponenti, smanjuje emisiju zagađujućih materija i troškove održavanja, ali i poboljšava bezbednost saobraćaja. Poseban značaj ima parametar *eko-vreme*, koji odražava konzistentnost vozača u održavanju ekonomične vožnje. Ova metrika se pokazala kao ključna jer ne meri samo trenutne performanse, već i trajnu stabilnost ponašanja, što je od presudne važnosti za kompanije sa velikim voznim parkovima.

Ipak, implementacija ovakvih sistema suočava se sa određenim izazovima. Pre svega, potrebno je obezbediti pouzdanost senzorskih podataka i robustnost telekomunikacionih kanala u različitim uslovima eksploatacije. Drugi važan izazov odnosi se na privatnost i transparentnost algoritama – vozači moraju imati uvid u način na koji se ocene izračunavaju kako bi se izbeglo narušavanje poverenja i subjektivni osećaj nepravde. Dodatno, sistem mora biti dovoljno prilagodljiv da uzme u obzir kontekstualne faktore poput težine tereta, tipa rute, saobraćajnih uslova i vremenskih prilika, jer ti elementi direktno utiču na parametre vožnje.

Buduća istraživanja mogu se usmeriti na unapređenje algoritamskog modela ocenjivanja integracijom tehnika mašinskog učenja i veštačke inteligencije, čime bi se omogućilo automatsko prilagođavanje pondera i granica ocena različitim vozilima i uslovima saobraćaja. U razmatranje treba uključiti uticaj mase tereta, saobraćajnih uslova, vremenskih uslova, kao i uzdužnog nagiba puta. Potencijal leži i u razvoju personalizovanih preporuka za vozače, gde bi sistem, na osnovu prethodnih obrazaca vožnje, generisao individualne savete za poboljšanje performansi.

5. Zaključak

Primena IoT u sistemima ocenjivanja i nagrađivanja vozača predstavlja važan iskorak ka digitalnoj transformaciji transportnog sektora. Integracijom senzorskih uređaja, komunikacionih mreža i inteligentnih algoritama, moguće je kontinuirano prikupljati i analizirati podatke o ponašanju vozača u realnom vremenu. Time se omogućava objektivno i transparentno ocenjivanje vožnje, što doprinosi smanjenju potrošnje goriva, povećanju bezbednosti, kao i racionalnijem korišćenju resursa. Predloženi model, pokazuje da je moguće kvantifikovati stil vožnje prikupljanjem parametara iz vozila. Kombinovanjem ovih parametara dobija se objektivna ocena vožnje koja predstavlja osnovu za dodelu nagrada i podsticaja. Prednosti ovakvog pristupa ogledaju se u njegovoj prilagodljivosti i mogućnosti implementacije u različitim operativnim uslovima. Nagrađivanje vozača koji dosledno primenjuju principe eko-vožnje, bilo kroz individualne bonuse ili grupne stimulacije, stvara kulturu odgovornosti i saradnje unutar organizacije, dok se istovremeno podstiče održivo poslovanje.

Razvoj ovakvih sistema doprinosi stvaranju pametnog i bezbednog transportnog okruženja u kojem su tehnologija i ljudski faktor međusobno povezani. IoT-bazirani modeli evaluacije vožnje predstavljaju pouzdan temelj za buduće integracije sa veštačkom inteligencijom, mašinskim učenjem i blockchain-om, čime će se dodatno unaprediti tačnost, poverenje i motivacioni efekti sistema. Takvi pristupi ne samo da optimizuju troškove i povećavaju efikasnost, već i promovišu održivu kulturu vožnje – što je ključno za dugoročni razvoj savremenog transporta.

Literatura

- [1] Maji, A., Shah, A., & Ghosh, I. (2025). Development of a driver safety reward system incorporating You Only Look Once (YOLO)-based traffic violation detection at roundabouts under highly heterogeneous traffic. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. DOI: 10.1177/03611981251343614
- [2] Elias, W. (2021). The effectiveness of different incentive programs to encourage safe driving. *Sustainability*, 13(6), 3398. DOI:10.3390/su13063398
- [3] Pentland, A., & Shmueli, E. (2018). *Incentivizing safer driving using peer-pressure* (MITR25-12). Massachusetts Institute of Technology
- [4] Meyer, L., Goedhals-Gerber, L. L., & De Bod, A. (2025). A systematic review of incentive schemes and their implications for truck driver safety performance. *Journal of Safety Research*, 92, 166–180. DOI:10.1016/j.jsr.2024.11.023

- [5] Jachimczyk, B., Wróbel, K., & Kmiec, M. (2018). IoT On-Board System for Driving Style Assessment. *Sensors*, 18(2), 403. DOI:10.3390/s18020403
- [6] Mattioli, V., et al. (2024). IoT-Based Assessment of a Driver's Stress Level. *Sensors*, 24(17), 5479. DOI:10.3390/s24175479
- [7] Amaxilatis, D., Tselios, C., Akrivopoulos, O., & Chatzigiannakis, I. (2019). On the design of a fog computing-based, driving behaviour monitoring framework. 2019 IEEE 24th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 1–6. DOI:10.1109/CAMAD.2019.8858432
- [8] Ho, Y. J., et al. (2022). Is it all about you or your driving? Designing IoT-enabled risk assessments in auto-insurance. *Production and Operations Management*. DOI:10.1111/poms.13816
- [9] Karrouchi, M., Messaoudi, A., Kassmi, K., Nasri, I., & Atmane, I. (2023). Intelligent driver monitoring system: An Internet of Things-based system for tracking and identifying the driving behavior. *Computer Standards & Interfaces*, 84, 103704. DOI:10.1016/j.csi.2022.103704
- [10] Rudrusamy, B., Teoh, H. C., Pang, J. Y., Lee, T. H., & Chai, S. C. (2023). IoT-based vehicle monitoring and driver assistance system framework for safety and smart fleet management. *International Journal of Integrated Engineering*, 15(1), 391–403. DOI:10.30880/ijie.2023.15.01.035
- [11] Meyer, L., Goedhals-Gerber, L. L., & De Bod, A. (2025). A systematic review of incentive schemes and their implications for truck driver safety performance. *Journal of Safety Research*, 92, 166–180. DOI:10.1016/j.jsr.2024.11.023
- [12] Abbas, Q., & Alsheddy, A. (2021). Driver Fatigue Detection Systems Using Multi-Sensors, Smartphone, and Cloud-Based Computing Platforms: A Comparative Analysis. *Sensors*, 21(1), 56. DOI:10.3390/s21010056
- [13] Zdravković, S., Vujanović, D., Stokić, M., & Pamučar, D. (2021). Evaluation of professional driver's eco-driving skills based on type-2 fuzzy logic model. *Neural Computing and Applications*, 33(18), 11541–11554. DOI:10.1007/s00521-021-05823-z

Abstract: *The concept of sustainable transport represents a central topic in modern transportation and logistics systems, particularly regarding cost reduction and the decrease of harmful gas emissions. Driver reward systems offer significant advantages over traditional approaches, which often rely on vehicle monitoring and penalizing drivers for speeding. Such systems can create a hostile atmosphere of fear and resistance among drivers, whereas reward-based models focus on motivating drivers to adhere to speed limits and drive efficiently. In this way, drivers are encouraged to develop responsible driving habits, which simultaneously reduces the risk of accidents. This paper explores and analyzes existing driver reward systems, examining driving efficiency and motivation, and identifies key directions for their further development. Based on the application of IoT, the study proposes a driver assessment and reward system that evaluates driving efficiency. An additional contribution of this research is identifying a long-term strategy that motivates drivers by focusing on sustainable development and adaptability in a rapidly changing business environment.*

Keywords: *driver reward systems, driving assessment, IoT*

DEVELOPMENT OF A DRIVER ASSESSMENT AND REWARD SYSTEM USING IoT

Stefan Zdravković, Marko Stokić