

PRIMENA „FUZZY LOGIKE“ U PROCESU ODLUČIVANJA VEZANO ZA PREPORUČENU BRZINU KRETANJA VOZILA

Dragoslav Kukić, AMSS-Centar za motorna vozila, Istraživačko razvojni centar, Beograd, kukicdragoslav@cmv.rs

Đorđe Stanisavljević, AMSS-Centar za motorna vozila, Istraživačko razvojni centar, Beograd, djordje.stanisavljevic@cmv.rs

Dragana Nojković, AMSS-Centar za motorna vozila, Istraživačko razvojni centar, Beograd, dragana.nojkovic@cmv.rs

Miloš Tučić, AMSS-Centar za motorna vozila, Istraživačko razvojni centar, Beograd, milos.tucic@cmv.rs

Rezime: U radu je predstavljen model odlučivanja koji je vezan za preporučenu brzinu kretanja vozila primenom pametnih saobraćajnih znakova, kojima se u realnom vremenu preporučuje bezbedna brzina kretanja vozila. Model je zasnovan na „fuzzy logici“ i primarno je namenjen za primenu na tzv. „otvorenim“ deonicama puteva van naselja, na kojima važi opšte ograničenje brzine kretanja. Pružanje pravovremene informacije vozaču o preporučenoj bezbednoj brzini kretanja vozila je posebno važno na deonicama puteva na kojima dolazi do čestih promena uslova za vožnju, izazvanih promenama vremenskih prilika ili gustine saobraćaja. Na ovim deonicama poželjno je preporučiti brzinu kretanja vozila koja je adekvatna, pravovremena i koja u obzir uzima više različitih podataka koji se prikupljaju u realnom vremenu. To se ne može postići tradicionalnim saobraćajnim znakovima već znakovima koji informaciju generišu na osnovu analize više različitih parametara, koji imaju direktan uticaj na preporučenu bezbednu brzinu kretanja vozila. Rad se upravo bavi elementima pametnog odlučivanja primenom „fuzzy logike“, u cilju adekvatne preporuke bezbedne brzine kretanja vozila.

ključne reči: saobraćajni znak, „fuzzy logika“, preporučena brzina

1. UVOD

Kako bi drumski saobraćaj zadržao korak u razvoju sa ostalim oblastima, mora se težiti konstantnom unapređenju postojećih, kao i razvoju novih, savremenih rešenja. Globalnom digitalnom revolucijom i neprekidnim trendom tehničko-tehnološkog razvoja, savremena rešenja u oblasti drumskog saobraćaja sama se nameću. Razvoj elektronskih uređaja za autonomno praćenje određenih, merljivih fizičkih veličina, kao i veoma brzi prenos podataka, pružaju mogućnost praćenja stanja nekog sistema u realnom vremenu i mogućnost pravovremenog prilagođavanja trenutnim uslovima koji važe u tom sistemu.

U cilju povećanja bezbednosti saobraćaja na deonicama pojedinih puteva, na kojima dolazi do čestih promena u uslovima vožnje, brzinu kretanja vozila bi trebalo prilagođavati trenutnim uslovima koje diktiraju stanje na putu, vremenske prilike i uslovi u saobraćajnom toku. Prilagođavanjem brzine kretanja vozila trenutnim uslovima značajno se smanjuje rizik nastanka saobraćajnih nezgoda čime se pozitivno utiče na povećanje bezbednosti saobraćaja.

Kada dođe do izrazito nepovoljne promene vremenskih uslova koja negativno utiče na uslove vožnju (npr. smanjena vidljivost usled pojave magle) postavlja se pitanje kako vozač da odredi najbezbedniju brzinu za trenutne uslove. U ovakvim situacijama pomoć vozačima može pružiti saobraćajni znak koji samostalno analizira podatke iz okruženja i donosi odluku o najbezbednijoj brzini za trenutne uslove.

2. PAMETNI SAOBRAĆAJNI ZNAK ZA PREPORUČENU BRZINU

Pametni saobraćajni znak za preporučenu brzinu se može definisati kao kompleksan sistem elemenata koji samostalno prikuplja podatke o trenutnim uslovima na putu, vremenskim prilikama i uslovima u saobraćajnom toku, obrađuje prikupljene podatke i putem fuzzy logike samostalno donosi odluku o najbezbednijoj brzini kretanja vozila u trenutnim uslovima, poštujući u svemu trenutna naučna dostignuća i pravila struke.

Osnovne elemente pametnog saobraćajnog znaka čine senzori za prikupljanje podataka iz okruženja, kontrolno upravljačka jedinica, LED panel, elementi solarnog napajanja i stub nosač. Senzori kojima se prikupljaju podaci iz okruženja i dobijaju numeričke vrednosti posmatranih indikatora su: senzor za merenje vidljivosti, senzor za merenje brzine vetra, senzor za merenje koeficijenta prianjanja i senzor za detektovanje gužve u saobraćajnom toku. Kontrolno upravljačka jedinica konstantno prati i analizira dobijene vrednosti indikatora sa senzora. Na osnovu analize podataka, kontrolno upravljačka jedinica samostalno određuje trenutne uslove i izračunava najbezbedniju brzinu za trenutne uslove koju prikazuje na LED panelu.

Pametni saobraćajni znak je u svom radu potpuno autonoman, nije mu potrebna internet konekcija niti bilo koja druga veza sa cloud-om ili serverom, a kao izvor napajanja koristi električnu energiju sa sopstvenih solarnih panela. Pametni saobraćajni znak samostalno/autonomno određuje i prikazuje najbezbedniju brzinu za trenutne uslove puta i saobraćaja, bez upravljanja iz kontrolnog centra i pomoći čoveka.

Pametni saobraćajni znak koristi fuzzy sistem odlučivanja za analizu podataka dobijenih sa senzora i određivanje najbezbednije brzine za trenutne uslove. Fuzzy sistem odlučivanja predstavlja koncept veštačke inteligencije koji se zasniva na jasno i precizno definisanim pravilima, a počiva na teoriji skupova. Vrednost preporučene brzine koju će znak prikazivati zavisi od pojedinačnih vrednosti koje senzori očitavaju, ali i od njihove kombinacije.

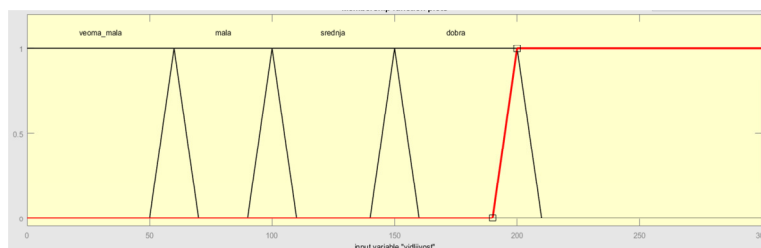
3. ODREĐIVANJE PREPORUČENE BRZINE KRETANJA PRIMENOM FUZZY LOGIKE

Fuzzy sistem obezbeđuje formalnu metodologiju za predstavljanje, manipulaciju i implementaciju ljudskog heurističkog predznanja o tome kako kontrolisati jedan, određeni sistem. Cilj fuzzy pristupa je da omogući implementaciju inženjerskog iskustva u cilju uspostavljanja sistemskih procesa koji su autonomni i da u rad kontrolera unese tzv. veštačku inteligenciju prilikom odlučivanja u samom procesu.

Fuzzy logika primenjena u algoritmu za određivanje preporučene brzine kretanja vozila kao ulazne podatke koristi podatke dobijene sa senzora integrisanih u pametni saobraćajni znak. Različite vrste podataka dobijaju se sa različitih senzora, i to su podaci o vidljivosti (m), brzini vetra (m/s), koeficijentu prianjanja i postojanju gužve u saobraćajnom toku.

U primeni fuzzy logike u procesu određivanja preporučene brzine najpre se definišu skupovi ulaznih podataka, skupovi izlaznih podataka i pravila. Korišćenjem trapezoidne

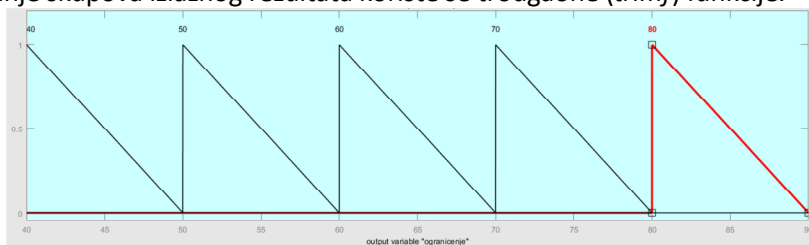
(*trapezf*) funkcije za sve vrste ulaznih podataka (podaci koji se prikupljaju putem senzora) definisani su fuzzy skupovi i određene granice svakog skupa. Za merenje vidljivosti definisano je pet skupova kojima trenutna vrednost vidljivosti može pripasti, i to su skupovi: „veoma mala“, „mala“, „srednja“, „dobra“ i „veoma dobra“.



Slika 1 – Primer trapezoidne funkcije za skupove vidljivosti

Opseg merenja u kome može biti prikazana trenutna vrednost koeficijenta prljanja podeljen je na pet fuzzy skupova, i to: „veoma mali“, „mali“, „srednji“, „dobar“ i „veoma dobar“. Trenutna vrednost brzine vetra može pripasti u tri definisana fuzzy skupa, i to: „slab“, „umeren“ i „jak“. Za postojanje gužve u saobraćajnom toku definisana su dva fuzzy skupa, i to: „gužva“ i „nema gužve“. Senzor za detektovanje gužve sam određuje da li postoji gužva i vrednost se automatski dodeljuje fuzzy skupu. Senzor radi tako što detektuje prolazak svakog vozila u saobraćajnoj traci i njegovu brzinu kretanja. Status „gužva“ postiže se kada se zadovolje unapred definisani kriterijumi da u zadatom vremenskom intervalu senzor detektuje prolazak određenog broja vozila brzinom manjom od granične.

Izlazni rezultat primene fuzzy logike predstavlja određena vrednost preporučene brzine koja je najbezbednija za trenutne vremenske uslove, uslove puta i saobraćajnog toka, a određuje se na osnovu skupova izlaznih vrednosti. Formiranje skupova izlaznih vrednosti zavisi od deonice puta na kome se postavlja pametni saobraćajni znak za preporučenu brzinu. U zavisnosti od toga da li se radi o gradskoj ili vangradskoj deonici, razlikuju se i skupovi izlazni vrednosti, odnosno razlikuju se vrednosti preporučene brzine. Za formiranje i predstavljanje skupova izlaznog rezultata koriste se trougaone (*trimf*) funkcije.



Slika 2 – Primer trougaone funkcije skupova izlaznih podataka

Definisanje fuzzy pravila vrši se na osnovu ekspertskog znanja i iskustva, uz poštovanje trenutnog naučnog dostignuća i pravila struke. Kod definisanja fuzzy pravila i ispitivanja njihove ispunjenosti koriste se tri osnovne operacije: unija (logički operator or/ili), presek (logički operator and/i) i negacija (logički operator not koji je definisan kao: $not \mu_e = \overline{\mu_e} = 1 - \mu_e$). Za određivanja vrednosti preporučene brzine definisano je 17 pravila.

Pravila se pišu u formi: „*If (vidljivost is veoma mala) or (koeficijent prljanja is veoma mali) or (brzina vetra is jak) then (preporučena brzina is četrdeset)*“. Ovo pravilo se može pročitati na sledeći način: Ako vrednost vidljivosti pripada skupu veoma mala ili vrednost

koeficijenta prijanja pripada skupu veoma mali ili vrednost brzine vetra pripada skupu jak onda vrednost preporučene brzine pripada skupu četrdeset.

Nakon definisanja skupova ulaznih vrednosti, skupova izlaznih vrednosti i pravila, sledeći korak predstavlja provera ispunjenosti svakog pravila koja podrazumeva da se u svakom pravilu proverava da li dobijene vrednosti sa senzora pripadaju odgovarajućim skupovima ulaznih vrednosti. Za svaki podatak dobijen sa senzora određuje se skup/skupovi kojima pripada i njegova funkcija pripadnosti fuzzy skupovima. Određivanje funkcije pripadnosti je neophodan korak koji pokazuje u kojoj mere neka vrednost sa senzora pripada skupu. Vrednost funkcije pripadnosti μ može biti u opsegu od 0 do 1, $\mu = [0,1]$. Izračunavanje se vrši na osnovu prethodno definisanih granica skupova, pritom, jedna ulazna vrednost sa senzora može pripadati u najviše dva skupa tog ulaznog podatka i za oba skupa je potrebno izračunati funkciju pripadnosti. Za dalji rad u algoritmu koriste se isključivo skupovi a ne sama vrednost sa senzora. Na primer, ukoliko se sa senzora dobije informacija da vidljivost iznosi 140 m, vidljivost pripada skupu *srednja* čije su granice od 90 do 160 metara. Formula za izračunavanje funkcije pripadnosti za skupove vidljivosti data je u nastavku.

$$\mu_{xi_x}(x) = \begin{cases} \frac{x - a_{xi_x}}{b_{xi_x} - a_{xi_x}}, & \text{ako je } a_{xi_x} \leq x \leq b_{xi_x}; \\ 1, & \text{ako je } b_{xi_x} \leq x \leq c_{xi_x}; \\ \frac{d_{xi_x} - x}{d_{xi_x} - c_{xi_x}}, & \text{ako je } c_{xi_x} \leq x \leq d_{xi_x}; \\ 0, & \text{ako je } d_{xi_x} \leq x. \end{cases} \quad (1)$$

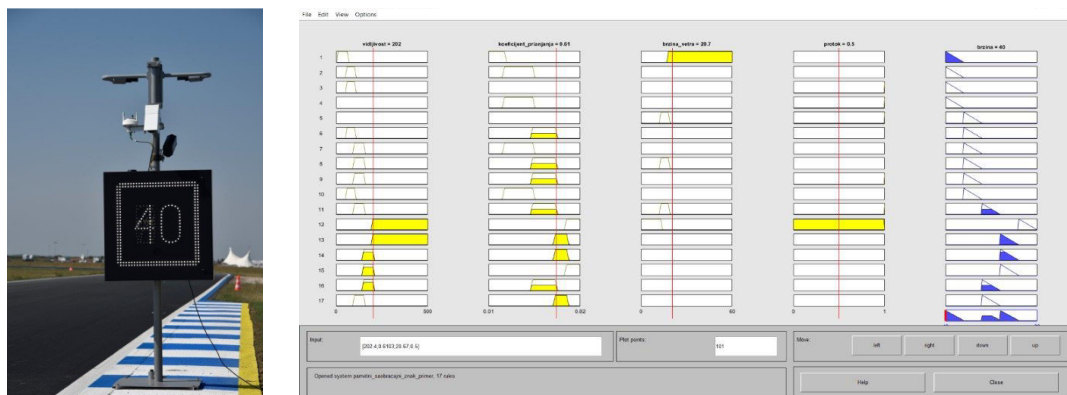
Sledeći koraci primene fuzzy logike u procesu određivanja preporučene brzine su implikacija, agregacija i defuzifikacija. Implikacija predstavlja proces određivanja vrednosti funkcije pripadnosti skupova izlaznih podataka a vrši se za svako ispunjeno pravilo na osnovu pripadajućih funkcija skupova ulaznih podataka i korišćenih logičkih operatera u pravilima. Implikacija se vrši na dva načina. Kod pravila sa logičkim operatorom *or/ili* koristi se funkcija *max* tako da vrednost pripadajuće funkcije skupu izlaznih podataka uzima maksimalnu vrednost od svih funkcija pripadnosti skupova ulaznih podataka u jednom pravilu. Kod pravila sa logičkim operatorom *and/i* koristi se funkcija *min* tako da vrednost pripadajuće funkcije skupu izlaznih podataka uzima minimalnu vrednost od svih funkcija pripadnosti skupova ulaznih podataka u jednom pravilu.

Agregacija predstavlja formiranje objedinjenog skupa izlaznih podataka a vrši se na osnovu određenih vrednosti funkcija pripadnosti skupova izlaznih podataka u ispunjenim pravilima. Za agregaciju se koristi funkcija *max* na način da se za svaki skup izlaznih podataka uzima samo maksimalna vrednost funkcije pripadnosti tom skupu.

Defuzifikacija predstavlja određivanje izlazne vrednosti, odnosno vrednosti preporučene brzine za trenutne uslova. Defuzifikacija se vrši na osnovu objedinjenog skupa izlaznih podataka. Za defuzifikaciju se koristi funkcija *som* (smallest of maximum) na način da se prvo određuje maksimalna vrednost funkcije pripadnosti skupova izlaznih podataka. Sledeći korak podrazumeva određivanje skupa izlaznih podataka koji ima maksimalnu vrednost funkcije pripadnosti a zatim se određuje donja granica tog skupa. Određena vrednost donje granice predstavlja izlazni podatak, odnosno preporučenu brzinu koja se ispisuje na LED panelu pametnog saobraćajnog znaka. Zbog mogućnost da dva ili više skupa izlaznih podataka ima

istu maksimalnu vrednost funkcije pripadnosti, uzima se najmanja vrednost donje granice skupova izlaznih podataka sa najvećom vrednošću funkcije pripadnosti.

Testiranje pravila fuzzy logike izvršeno je simulacijama u odgovarajućem softveru, dok je testiranje funkcionalnosti pametnog saobraćajnog znaka i celog sistema (rad senzora, prikupljanje i obradu podataka, funkcionisanje fuzzy logike u kontroleru, prikazivanje brzine na znaku i sl.) izvršeno na stazi, u simuliranim realnim uslovima.



Slika 3 – Testiranje pametnog saobraćajnog znaka za preporučenu brzinu

4. ODREĐIVANJE LOKACIJA ZA POSTAVLJANJE PAMETNOG SAOBRAĆAJNOG ZNAKA

Efekte rada pametnog saobraćajnog znaka primarno se ogledaju u unapređenju bezbednosti saobraćaja putem smanjenja broja saobraćajnih nezgoda i težine njihovih posledica koje nastaju usled kretanja vozila neprilagođenom brzinom trenutnim uslovima. Da li će pametni saobraćajni znak ispuniti svoju svrhu i svoj cilj, zavisi od toga na kojim mestima, odnosno deonicama će biti postavljen. Osnovna ideja je da se postavlja na deonicama na kojima dolazi do čestih promena uslova vožnje. Promena vremenskih uslova u vidu pojave kiše, magle, susnežice, snega i sl. pored toga što utiče na smanjenje vidljivosti, utiče i na karakteristike površine kolovoza dovodeći do smanjenja koeficijenta prljanjanja, što u kombinaciji sa gužvom predstavljaju izrazito nepovoljne uslove za vožnju.

Prema procenama pametni saobraćajni znak najveće efekte pruža na deonicama koje karakteriše česta promena uslova vožnje (pojava magle, kiše, poledice, jakih naleta vetra, čestih gužvi i sl.) a to su pre svega rizične deonice na kojima su najčešći tipovi saobraćajnih nezgoda čeonih sudara i sletanje vozila sa puta, zatim deonice u klisurama i kotlinama, vijadukti, deonice pored reka. U gradskim uslovima to su deonice na mostovima, bulevarima ili ulicama pored reka, i sl. Prilikom određivanja lokacija za postavljanje pametnog saobraćajnog znaka potrebno je uzeti u obzir i raspoložive podatke o saobraćajnim nezgodama nastalim usled loših uslova vožnje, podatke o mapiranju rizika, analizi opasnih mesta (crnih tačaka), analizi lokacija koje koristi saobraćajna policija za kontrolu poštovanja propisane brzine kretanja, analizi podataka o saobraćajnom opterećenju, analizi vremenskih uslova koji u toku godine vladaju na deonici i očekivano stanje na putevima prema raspoloživim podacima.

5. ZAKLJUČAK

Primena fuzzy logike u procesu određivanja preporučene brzine kretanja može pružiti veliki doprinos unapređenju bezbednosti saobraćaja, putem smanjenja broja i težine posledica saobraćajnih nezgoda koje nastaju usled neprilagođene brzine trenutnim uslovima puta, vremenskim uslovima i uslovima u saobraćajnom toku. Pametni saobraćajni znak za preporučenu brzinu ima za cilj da pomogne vozaču prilikom određivanja najbezbednije brzine za trenutne uslove.

Kako bi ispunio svoju svrhu i ostvario najveće efekte, pametni saobraćajni znak bi trebalo postaviti na deonicama na kojima postoji realna potreba. Najveći fokus bi trebao biti na otvorenim deonicama na kojima često dolazi do smanjenja vidljivosti usled pojave magle, što je pre svega karakteristično za deonice u klisurama i kotlinama, deonice pored reka, u gradskim uslovima to mogu biti mostovi i sl. Pametni saobraćajni znak mora biti u potpunosti autonoman prilikom određivanja preporučene brzine bez upravljanja iz kontrolnog centra i pomoći čoveka, uz napajanja iz solarnih panela.

Elementi pametnog saobraćajnog znaka za preporučenu brzinu, odnosno oprema koju znak sadrži, u budućnosti bi mogli da se koriste i za određivanje i praćenje drugih pokazatelja koji utiču na kretanje vozila i prikazivanje drugih saobraćajnih znakova. Takođe, u budućnosti se može težiti i čitavom sistemu pametnih saobraćajnih znakova, koji bi bili međusobno povezani i koji bi samostalno određivali i vozačima prenosili poruke sa informacijama o opasnostima koje im prete na određenom mestu, odnosno delu puta, kao i prirodi tih opasnosti, prvenstvu prolaza, zabranama, ograničenjima, obavezama i obaveštenjima, što bi omogućilo dinamičko regulisanje saobraćaja u skladu sa trenutnim uslovima.

SUMMARY

APPLICATION OF THE "FUZZY LOGIC" IN THE DECISION-MAKING PROCESS RELATED TO VEHICLE ADVISORY SPEED

Abstract: The paper presents a decision-making model related to the vehicle advisory speed using smart traffic signs recommending travelling at safe vehicle speeds, in real time. The model is based on the "fuzzy logic" and is primarily intended for application to the so-called "open" road sections located outside built-up areas, where general speed limit applies. Providing the driver with timely information on the safe, vehicle advisory speed is of particular importance on road sections where there are frequent changes in driving conditions caused by changes in weather conditions or traffic density. On these sections, it is desirable to advise on vehicle speed that is adequate, timely and is taking into account several different data collected in real time. This cannot be achieved by means of traditional traffic signs, and therefore, the signs generating information that is based on the analysis of several different parameters having a direct impact on the safe, vehicle advisory speed, need to be used instead. The paper actually considers the elements of a smart decision-making process using the "fuzzy logic" to adequately advise on safe vehicle speed.

Keywords: traffic sign, "fuzzy logic", vehicle advisory speed