

Sadko Mandžuka, Edouard Ivanjko, Pero Škorput, Miroslav Vujić, Martin Gregurić, Jasmin Čelić

PRIMJENA KOOPERATIVNOG PRISTUPA U UPRAVLJANJU PROMETOM - ISKUSTVA PROJEKTA ICSI

THE USE OF COOPERATIVE APPROACH TO TRAFFIC CONTROL - EXPERIENCE OF PROJECT ICSI

Ključne riječi: *inteligentni transportni sustavi, kooperativno upravljanje, sigurnost prometa, upravljanje priljevnim tokovima, ontološki modeli, upravljanje prioritetima, inteligentno parkiranje*

Keywords: *Intelligent Transport Systems, Cooperative control, Traffic safety, Ramp metering systems, Ontological models, Traffic signal priority, Intelligent parking*

SAŽETAK

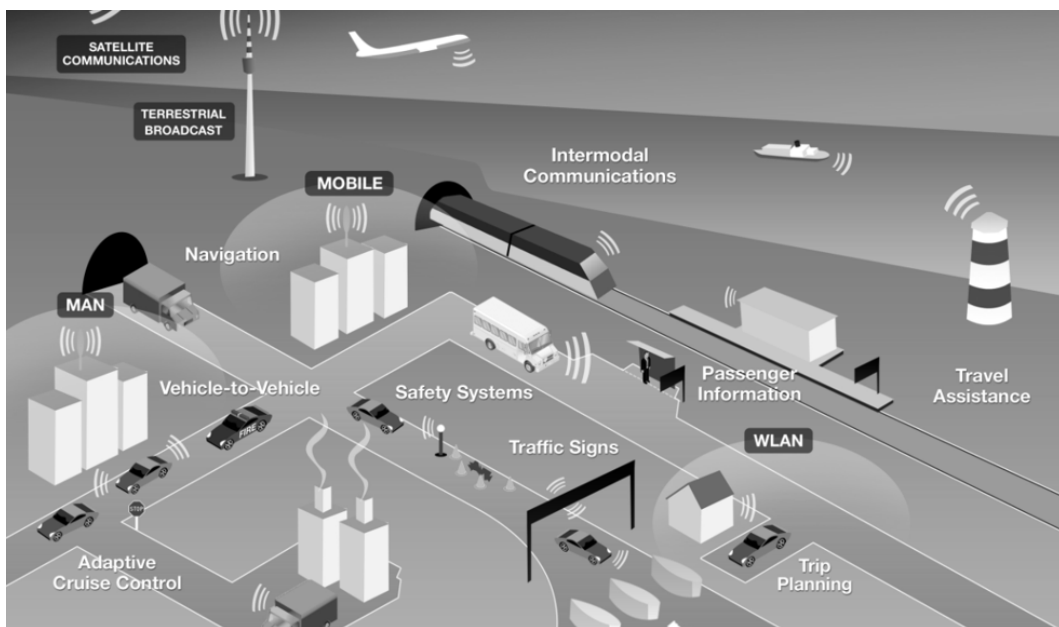
Kooperativni sustavi u prometu i transportu su sustavi u kojima vozilo bežično komunicira s drugim vozilima, infrastrukturom (prometnica i prateća oprema) te drugim korisnicima (pješaci, VRU i dr.). Tehnologija kooperativnih sustava omogućuje dvosmjernu komunikaciju: V2V - vozila s vozilom, V2I – vozilo s infrastrukturom, V2U- vozilo s ostalim korisnicima (npr. Vulnerable Road User - VRU), I2U – infrastruktura s ostalim korisnicima i sl.. Primjenom suvremenih ICT tehnologija u ovom području teži se stvaranju integriranog rješenja u području sigurnosti cestovnog prometa, energetski učinkovitijem transportu, ekološki prihvatljivijim rješenjima i dr.. U radu su prikazani neki rezultati FP7 projekta „ICSI - Intelligent Cooperative Sensing for Improved traffic efficiency“.

SUMMARY

Cooperative systems in traffic and transport provide that vehicles communicate wirelessly with other vehicles, infrastructure (roads and related equipment) and other users (pedestrians, VRU, etc.). Technology of cooperative system allows two-way communication: V2V - vehicle to vehicle, V2I – vehicle to infrastructure, V2U- vehicle to other users (eg. Vulnerable Road User - VRU), I2U - infrastructure to other users, etc. The application of modern ICT technologies in this area aims to creating integrated solutions in the field of road safety, energy-efficient transport, more environmentally friendly solutions, etc. Some results of the FP7 project "ICSI - Intelligent Cooperative Sensing for Improved traffic efficiency" is presented in the paper.

1 UVOD

Jedan od temeljnih problema suvremenog svijeta je promet, koji se ne uspijeva više rješavati samo fizičkom gradnjom odnosno rekonstrukcijama prometnica (build only - pristup). U tom smislu, u posljednjih dvadesetak godina napravljeni su značajni znanstveno-istraživački napori u SAD-u, Japanu, zemljama Europske Unije i drugim visoko-razvijenim zemljama, na sagledavanju rješavanja problema prometa korištenjem resursa novih informacijsko-komunikacijskih tehnologija i novousvojenih znanja o vođenju ovakvih kompleksnih sustava i procesa. To novo područje nadgradnje klasičnog prometnog inženjerstva, nazvano inteligentni transportni sustavi (ITS), iskazuje novi pristup i primjenu naprednih upravljačkih i tehničko-tehnoloških rješenja, kojima se postiže veća sigurnost, učinkovitost i pouzdanost prijevoza, a uz smanjenje utjecaja na okoliš i društvo (smanjenje emisije onečišćenja, buka i slično).



Slika 1. Koncept kooperativnih sustava u prometu

U slijedećim poglavljima opisane su neke od mogućnosti primjene kooperativnih sustava kroz rezultate FP7 projekta „ICSI - Intelligent Cooperative Sensing for Improved traffic efficiency“. To su: upravljanje priljevnim tokovima, primjena ontologija u prometu, davanje prioriteta pojedinim skupinama vozila te sustavi inteligentnog parkiranja.

2 UPRAVLJANJE PRILJEVNIM TOKOVIMA

Pri kapacitetom dimenzioniranju autocesta teško se može predvidjeti prometna potražnja na priljevnim tokovima (engl. on-ramps), koja direktno utječe na propusnost glavnog toka. Danas je razvijeno nekoliko različitih strategija za upravljanje prometom na

Očigledna ograničenja klasičnog pristupa razvoju prometnog sustava, sukladno načelima znanstveno utemeljenog kreiranja politike gospodarenja i održivog razvitka, doveli su do zahtjeva za novim usklađenim rješenjima u cestovnom i drugim granama prometa. Suštinu ITS-a čine sustavna upravljačka i informatičko-komunikacijska rješenja ugrađena u prometnu infrastrukturu, vozila, upravljačke centre i različite komunikacijsko-računalske terminale.

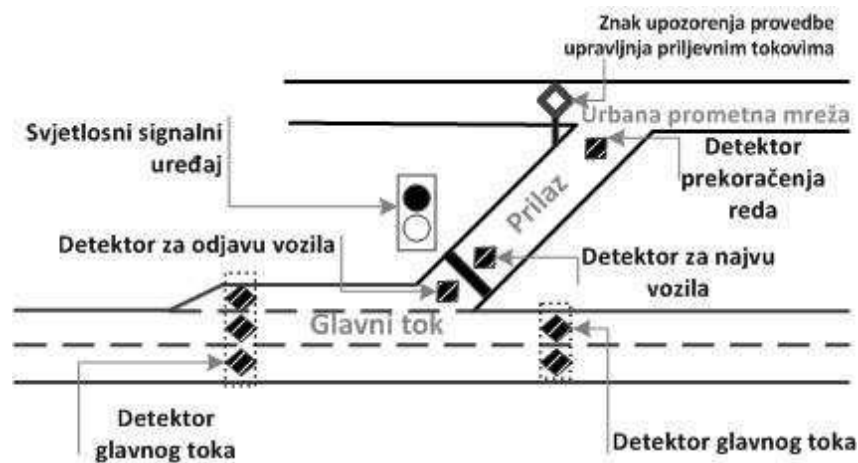
Posebna tehnološka cjelina u suvremenom ITS-u predstavljaju kooperativni sustavi. To su sustavi u kojima vozilo (ili neki drugi prometni entitet) bežično komunicira s drugim vozilima, infrastrukturom (prometnica i prateća oprema) te drugim korisnicima (pješači, VRU i dr.), slika 1. Primjenom suvremenih ICT tehnologija teži se stvaranju integriranog rješenja u području sigurnosti cestovnog prometa, energetski učinkovitijem transportu, ekološki prihvatljivijim rješenjima i dr..

autocestama kako bi se izbjegao ili ublažio utjecaj velikog broja vozila na duljinu trajanja i intenzitet zagušenja na autocestama [1]. U svijetu se već duže vrijeme razmatraju metode upravljanja priljevnim tokovima vozila (engl. ramp metering), te sustav upravljanja promjenjivim ograničenjem brzine (engl. variable speed limit control – VSLC).

Sustav upravljanja priljevnim tokovima se definira kao upravljanje interakcijom priljevnih tokova arterijskih cesta sa glavnim tokom autoceste. Spomenuti sustav koristi odgovarajuće algoritama u određivanju signalnog plana koji upravljanja stupnjem propuštanja priljevnih tokova u glavni prometni tok. Sustav upravljanja priljevnim tokom čine postupci mjerenja značajki prometnih tokova autoceste, posebni prometni svjetlosni signalni uređaji, te spomenuti algoritmi upravljanja i

obrade podatka [2]. Osnovna struktura potrebna za implementaciju upravljanja priljevnim tokovima prikazana je na slici 2. Lokalno upravljanje priljevnim tokom (npr. izvedeno ALINEA algoritmom) ne uzima u obzir kako će se lokalna upravljačka odluka odraziti na prometne parametre drugih segmenata autoceste [2]. Upravljačka odluka zasnovana na lokalno prikupljenim podacima može inducirati prometni scenarij u kojem vozila sa lokalno upravljanog segmenta autoceste prilaze prevelikom brzinom i intenzitetom do nizvodnog segmenta koji je pod zagušenjem. Zagušenje u nizvodnom segmentu biti će dodatno opterećeno ulaznim tokom iz uzvodnog segmenta što će potencijalno inducirati brže širenje šok vala uzvodno [3]. Spomenut problem razvio je potrebu za korištenjem globalnih prometnih podataka pomoću kojih će se ostvariti svijest svake lokalne upravljačke strukture o

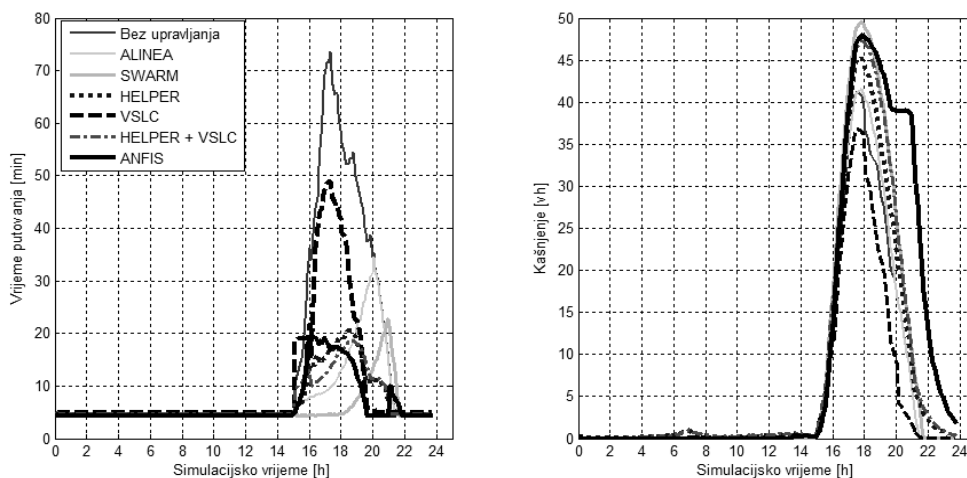
globalnom stanju prometnog sustava. Kooperativni upravljačke strategije koriste globalne podatke, te se mogu ostvariti između više priljevnih tokova (HELPER algoritam), sustava upravljanja priljevnog toka i drugih metoda upravljanja tokovima autoceste (npr. sustav upravljanja promjenjivim ograničenjem brzine). Unutar ICSI projekta testirane su sve spomenute kooperativne upravljačke metode na makro-simulacijskom modelu Zagrebačke obilaznice [3, 4, 5]. Također, razvijen je ANFIS algoritam upravljanja priljevnim tokovima sa mogućnošću učenja lokalnih i kooperativnih upravljačkih strategija [4]. Ovisno o prometnim parametrima ANFIS je u mogućnosti odabrati adekvatnu strategiju upravljanja priljevnim tokovima. Rezultati nakon simulacije spomenutih sustava upravljanja tokovima autoceste mogu se vidjeti na slici 3.



Slika 2. Osnovna infrastruktura potrebna za implementaciju upravljanja priljevnim tokovima

Rezultati s obzirom na vrijeme putovanja i kašnjenje prilikom primjene kooperativnih algoritama uključujući i ANFIS algoritam, pokazuju poboljšanja u odnosu na lokalne strategije i na slučaj bez upravljanja. Situacija bez upravljanja zbog specifične izvedbe simulacijskog modela ima najniže kašnjenje. Unutar ICSI projekta

razmatrana je mogućnost primjene V2I komunikacije u potpunom i djelomičnom upravljanju vozilima koja se uključuju sa prilaza u glavni tok autoceste [5]. Djelomično upravljanje vozilom V2I komunikacijom odnosi se na asistenciju mladim vozačima kao bi se izbjeglo gašenje motora vozila pri ulazu u glavni tok.

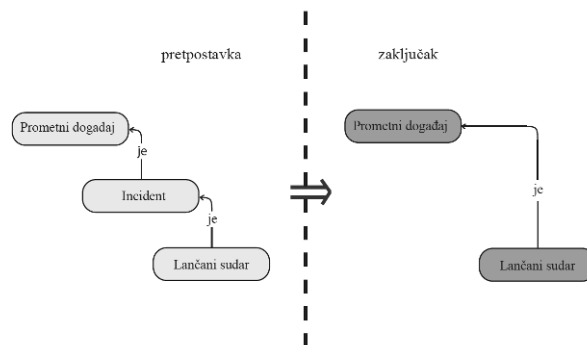


Slika 3. Rezultati nakon simulacije spomenutih sustava upravljanja tokovima autoceste

3 PRIMJENA ONTOLOGIJA U PROMETU

Predmet istraživanja ICSI projekta u području primjene ontologija svodio se na pronalaženje oblika prikazivanja prometnog znanja u obliku razumljivom računalu, ali i dovoljno razumljivom čovjeku kako bi ga se moglo relativno jednostavno nadopunjavati novim znanjima. Za ontologije, kao oblik prikaza znanja, postoji rastući interes znanstvene zajednice. Ontologija se razmatra kao osnova za semantičke tehnologije jer pruža inteligentne interakcije između aplikacija i agenata na semantičkoj razini komunikacije, umjesto prijašnjih jednostavnih leksičkih ili sintaktičkih interakcija [6]. Ontologije pridonose postizanju većeg stupnja interoperabilnosti između različitih ITS aplikacija na način da su prometni podatci iz konteksta upravljanja incidentnim situacijama predstavljeni u obliku koji je strojno razumljiv. Ontologija u domeni upravljanja incidentnim situacijama zapravo je osnovna komponenta potrebna za kreiranje semantičkih ITS aplikacija. Ontologije omogućavaju automatizirano korištenje i strojnu interpretaciju znanja o upravljanju incidentima te bržu i učinkovitiju manipulaciju gigantskog strojno razumljivog i strojno procesirajućeg prometnog znanja opisanog pomoću različitih XML formata relevantnog za upravljanje incidentnim situacijama u prometu. Također, *emergency* aplikacijama omogućavaju da međusobno mogu razmjenjivati sadržaje na semantičkoj razini te ih obrađivati i interpretirati. Ovo predstavlja bitan napredak u odnosu na dosadašnje načine razmjene informacija prometu [7]. Tijekom ICSI projekta razvijeni su ontološki modeli upravljanja incidentnim situacijama u prometu. Sastoje se od obrazaca podatka koji opisuju koncepte i njihove međusobne odnose. Koncepti se sastoje od strukturiranih objekata, preslikavanja, veza, asocijacija, podtipova/nadtipova i stanja. Ponašanje objekata čine događaji, operacije, metode, okidači, kontrolni uvjeti i promjene stanja. Konkretnije, koncepti su pojmovi koje primjenjujemo na objekte iz realnog prometnog okruženja u području upravljanja incidentnim situacijama. Pomoću koncepta, kao mehanizma za strojno prepoznavanje, moguće je automatizirati prepoznavanje i strukturiranje stvarnih prometnih događaja prilikom upravljanja incidentnim situacijama. Na takav način stvara se strojno razumljiva aplikacijska domena upravljanja incidentnim situacijama u prometu.

Na slici 4 prikazan je primjer koncepta *lančani sudar* koji je *incident*, a *incident* je *prometni događaj*. Na ovaj način upotrebljeno je svojstvo tranzitivnosti relacije „je” u slučaju da je *Prometni_događaj* - *Incident* i da je *Incident* - *Lančani_sudar* iz čega slijedi da je *Prometni_događaj* - *Lančani_sudar*. Ovakvi i slični događaji u prometu mogu se prikazati uz pomoć ontoloških grafova.



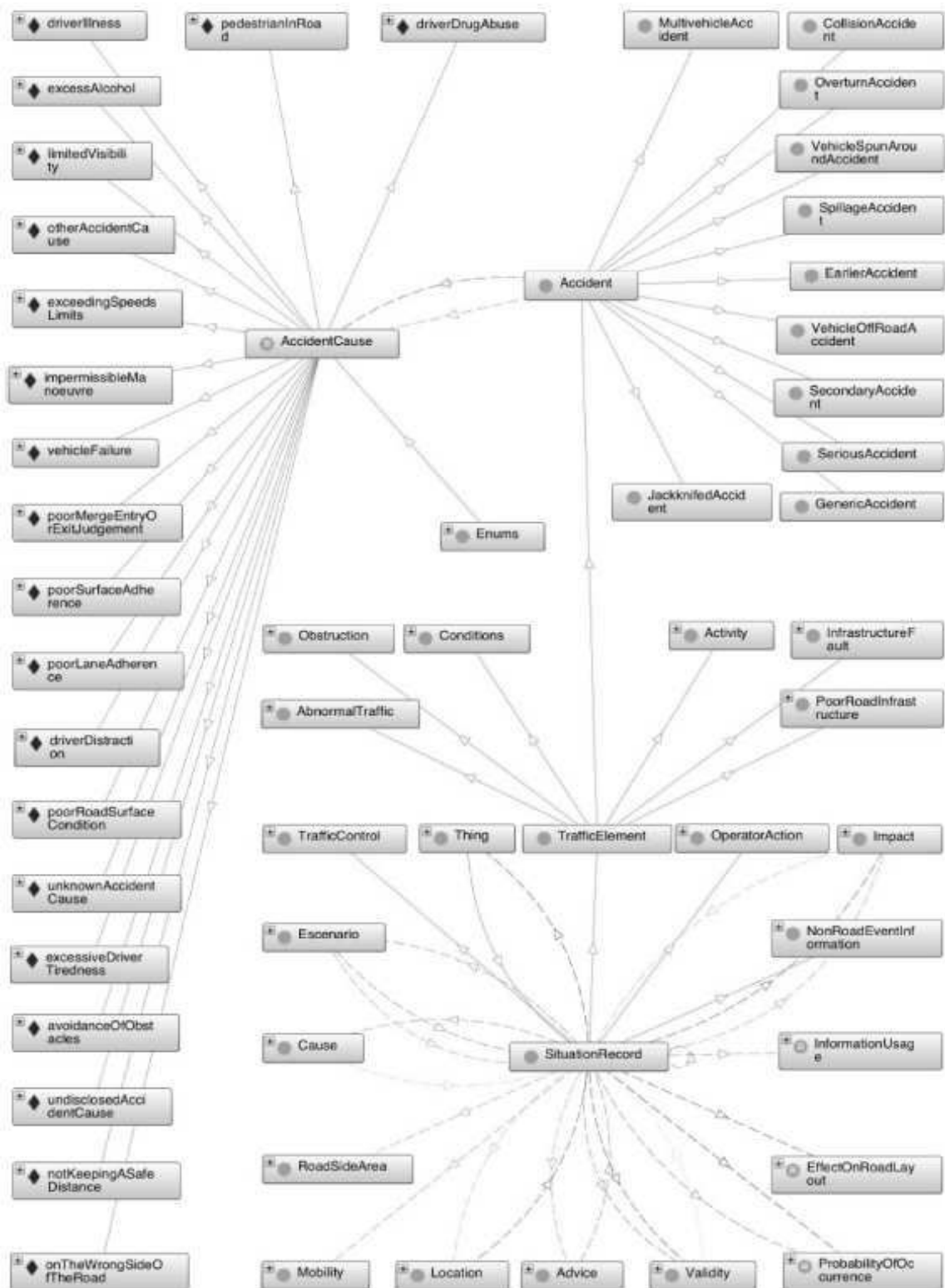
Slika 4. Primjer jednostavnog zaključivanja, [8]

Na slici 5 prikazan je ontološki prikaz oglednoga područja ontologije koja semantički opisuje incidentni događaj u prometu. Ontološki grafovi prikazuju strukturu kreiranoga dijela ontologije tako da su grafički vidljivi opisani dijelovi ontologije s prikazanim klasama, individuama i relacijama među njima.

Istraživanja na ICSI projektu u ovom segmentu rezultirala su konceptualnim rješenjima kojima se može postići veći stupanj semantičke interoperabilnosti između različitih kooperativnih incident management aplikacija. Primjenom razvijenih ontoloških modela moguće je predstavljanje podataka i informacija prometnoga konteksta u strojno prepoznatljivom obliku. Aplikativna se primjena razvijenih ontoloških modela nalazi u uspostavi zajedničkoga i otvorenoga modela konceptualizacije domene upravljanja incidentnim situacijama, nužne za primjenu višeagentskih tehnologija u ovom području. Višeagentske tehnologije uz primjenu ontoloških modela znanja iz *incident management domene* mogu ostvarivati zadaće specifikacija prometnoga okruženja, zajednički pristup prometnim informacijama, mogu izvršavati semantičke pretrage, višestruko upotrebljavati znanja, integrirati prometne informacija iz heterogenih izvora informacija te uspostavljati semantičke interoperabilnosti između incident management aplikacija.

4 PRIMJENA PRIORITETA U UPRAVLJANJU PROMETOM

Pri upravljanju gradskim prometnim sustavom moguće je postojeći sustav nadograditi kooperativnim konceptom radi poboljšanja sustava javnog gradskog prijevoza (dodjelom prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza). Suradnja (engl. cooperation) između vozila javnog gradskog prijevoza i upravljačkog sustava (pr. glavni prometni centar) ključna je u razvoju novih sustava upravljanja prometom budući da ti podsustavi više ne djeluju samostalno, nego "suraduju" u cilju poboljšanja kvalitete gradskog prometnog sustava u cjelini, [9].



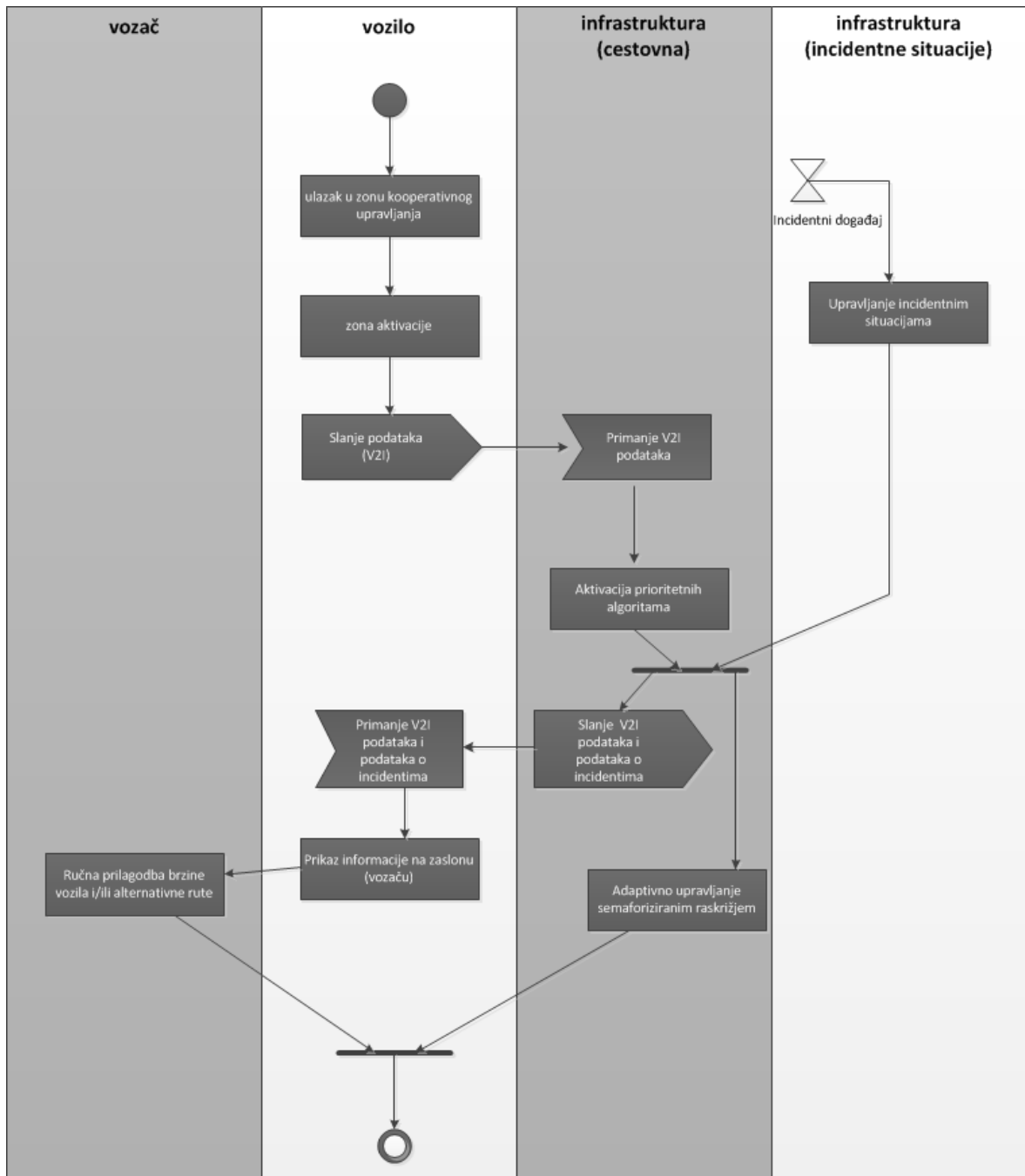
Slika 5. Ontološki prikaz incidentnog događaja u prometu, [7]

Koncept kooperativnog upravljanja uz dodjelu prioriteta vozilima javnoga gradskoga prijevoza predstavljen je na slici 6. Vozilo javnog gradskog prijevoza ulazi u zonu kooperativnog upravljanja (dionica gradske mreže sa više semaforiziranih raskrižja) te se aktivira način kooperativnog upravljanja i vozilo šalje glavnom prometnom centru prošireni skup podataka o lokaciji

vozila, broju putnika u vozilu, vrijednosti kašnjenja za definiranim voznim redom, itd. Time se ostvaruje V2I komunikacija između glavnog prometnog centra i samog vozila. Na temelju primljenih podataka glavni prometni centar donosi odluku o potrebi za aktivacijom prioriternih strategija, te odabire najpovoljniju tehniku dodjele prioriteta u odnosu na stvarnu prometnu

situaciju [10]. U slučajevima incidentne situacije na dionici kooperativnog upravljanja (zagušenje, prometna nezgoda, itd.) vozaču se šalju podaci o izvanrednom događaju (incidentu), eventualan alternativni pravac vožnje, očekivano vrijeme kašnjenja do sljedećeg stajališta, itd. Vozač na temelju dobivenih podataka donosi odluku o alternativnom pravcu vožnje i/ili prilagođava brzinu vozila kako bi se prioritetni prolazak semaforiziranim raskrižjem izvršio. Na taj način se mogućnosti adaptivnog upravljanja mogu proširiti

dodatnim informacijama koje do sada razmotreni sustavi ne podržavaju - uz osnovne informacije o broju linije javnoga gradskoga prijevoza, kašnjenju prema definiranom voznom redu moguće je upravljačkom sustavu pružiti informacije o učestalosti prolaska linije javnoga gradskoga prijevoza, dolasku sljedećeg vozila, trenutnom broju putnika u vozilu, parametrima cestovnog prometa (rep čekanja po privozima, zauzeće pojedinog privoza, itd.).



Slika 6. Dijagram toka osnovne procedure rada kooperativnog upravljanja uz dodjelu prioriteta vozilima JGP-a

5 INTELIGENTNI SUSTAVI PARKIRANJA

Inteligentni transportni sustavi imaju široku primjenu u različitim transportnim modovima i prometnim segmentima pa se tako, najčešće pod nazivom inteligentni sustavi parkiranja ili pametni parkirni sustavi, mogu pronaći i kao odgovor na probleme koji su posredno ili neposredno uzrokovani parkiranjima. Potražnja za odgovarajućim slobodnim parkirnim mjestom jedan je od vodećih uzročnika zagušenja u gradskim središtima [11].

Kruženje prometnicama u potrazi za slobodnim parkirnim mjestom ne povećava ukupno vrijeme putovanja samo tog vozila već i svih ostalih vozila koja su zbog prouzročene zagušenja i zastoja morala usporiti ili stati. Time se ukupni negativni učinci ovog fenomena poput potrošnje goriva, emisije štetnih plinova, stresa vozača i putnika, proizvodnje buke i ugrožavanja sigurnosti znatno uvećavaju. Jedna od vodećih svjetskih kompanija na području navigacijskih i kartografskih proizvoda objavila je indekse prometnih zagušenja za preko 180 gradova na gotovo svim kontinentima diljem svijeta provodeći mjerenja u različitim dijelovima dana i svim danima u tjednu. Visoka razina prometnih zagušenja koja se može pronaći u glavnim gradovima pojedinih zemalja pokazuje koliko je rasprostranjen i ozbiljan navedeni problem. Naime, zagušenje u Moskvi (Rusija) u vrijeme najvećeg opterećenja prometnica iznosi čak 74% [12].

Rješenja za smanjenje prometnih zagušenja se prije svega pokušavaju pronaći u odgovarajućim strategijama i politikama upravljanja parkiranjem kojima se demotiviraju vozači koji dolaze u gradska središta. U tu se svrhu koriste različite metode i pristupi koji najčešće uključuju različite režime naplate parkiranja te usklađivanje odnosa cijena između uličnog i izvan uličnog parkiranja. Drugi je način uporaba inteligentnih sustava za parkiranje. Oni se redovito koriste uz prethodno spomenute regulatorne mjere koje su rezultat strategija i politika upravljanja parkiranjem.

Prvi sustavi za upućivanje na raspoloživa parkirna mjesta pružali su korisnicima samo statičke pred-putne i putne parkirne informacije koje su bile dostupne putem interneta na osobnim računalima ili u tu svrhu posebno predviđenim mjestima (info kiosk), telefonskim i telefaks servisima i sl., te putem odgovarajućih prometnih znakova. Informacije koje su se prikazivale vozačima najčešće su sadržavale samo naziv parkirališnog objekta, smjer, kapacitet i udaljenost.

Tehnološki napredak i razvoj informacijskih, komunikacijskih i drugih tehnologija omogućio je pružanje dinamičkih informacija i stvaranje takvih sustava koji mogu prikazivati informacije u stvarnom vremenu, otporni su na greške, sposobni su pružati podatke o svakom pojedinom uličnom i izvan uličnom

parkirnom mjestu, identificiraju vozila, omogućavaju naplatu različitim platežnim sredstvima, provode postupak rezervacije i mogu osigurati prikupljene i obrađene informacije svim zainteresiranim skupinama, brinući se pritom o sigurnosti i odgovarajućim ovlastima. Informacije se mogu prikazivati u bilo koje vrijeme i na bilo kojem mjestu (stolna ili prijenosna računala, dlanovnici, tableti, pametni telefoni, uređaji u vozilu, prometni znakovi s promjenjivim sadržajem, razni zasloni).

Primjena kooperativnog pristupa u sustavima za upućivanje vozila na raspoloživa parkirna mjesta [13] osigurala je brzo i učinkovito informiranje korisnika koristeći prije svega sve prednosti postojećih sustava, a zatim i novih tehnologija koje su omogućile ostvarivanje prethodno navedenih karakteristika (vidi sliku), slika 7. Osnovna se prednost ovih sustava očituje upravo u činjenici da se informacije korisnicima više ne pružaju iz centralnog dijela sustava za informiranje putnika i vozača već one dolaze direktno od inteligentnih jedinica u vozilu i cestovnoj infrastrukturi V2V i V2I komunikacijom.

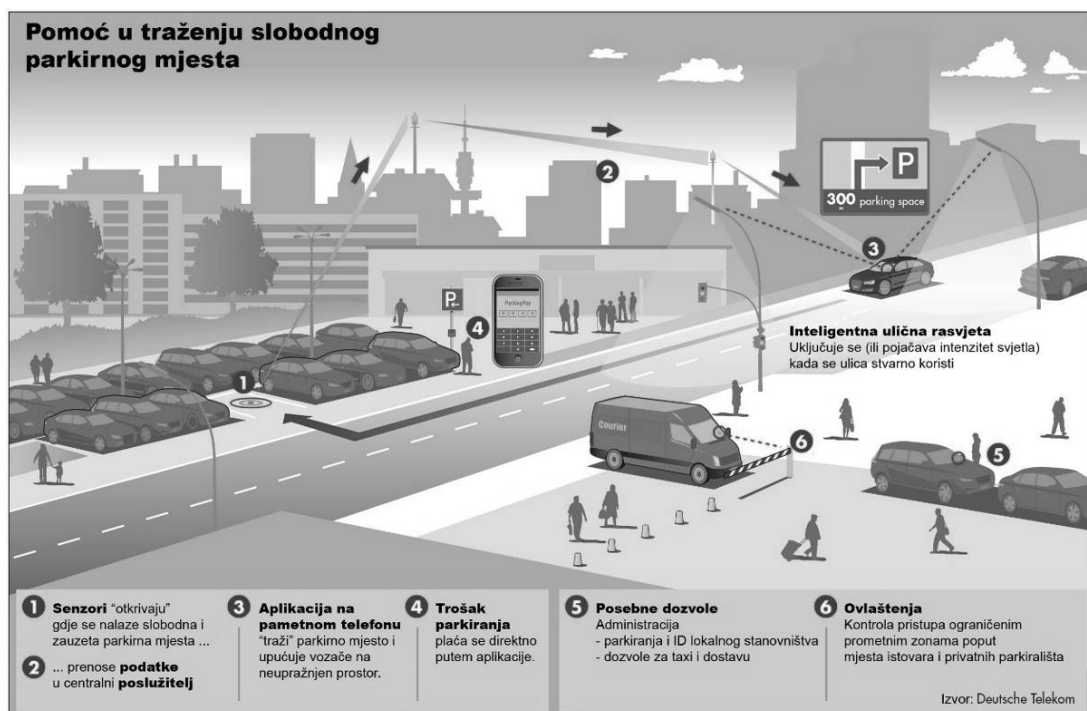
Evidentni i mjerljivi problemi u svezi s parkiranjem koji se prije svega odnose na zagušenja, onečišćenje okoliša i sigurnost opravdaju relativno visoka ulaganja u inteligentne parkirne sustave. Racionalno upravljanje parkirnim prostorima i kvalitetno postavljene strategije i politike parkiranja mogu znatno djelovati na kvalitetu života u lokalnim zajednicama i zadovoljstvo korisnika usluga. Navedeni sustavi kao podskupina inteligentnih transportnih sustava postaju sastavni dijelovi vizije pametnih gradova što im prije svega omogućuje brz tehnološki razvitak. Kao prepoznatljiv dio koncepta interneta stvari inteligentni parkirni sustavi ubrzo će biti neizostavni dio novih infrastrukturnih projekata većih gradskih središta.

6 ZAKLJUČAK

Konkretno koristi od kooperativnih sustava mogu se promatrati kroz različite skupine pokazatelja odnosno kategorije ITS učinaka. U literaturi se ITS učinci povezuju uz sljedeće pokazatelje:

1. sigurnost (safety)
2. učinkovitost protoka (flow efficiency)
3. produktivnost i reduciranje troškova (productivity and cost reduction)
4. koristi za okoliš (environment benefits)

Uz mjerljive koristi postoje i značajne kolateralne koristi, kao što su poticaj novim poslovima i zapošljavanju, podizanje tehnološkog imidža grada i regije odnosno nacije, itd. Korisnici odnosno zainteresirane skupine (stakeholderi) mogu biti: krajnji korisnici, mrežni operatori, vlasnici sustava (shareholders), davatelji usluga, turističke tvrtke, lokalna zajednica, gradska uprava, itd.



Slika 7. Sustav inteligentnog parkiranja

Pri razvoju i implementaciji novih ITS projekata postoje više pristupa mjerenju učinaka i koristi od ITS-a. Dizajn efektivnih i uporabljivih ITS rješenja podrazumijeva mogućnost procjene ITS učinaka primjenom odgovarajućih metoda, kao što su: metoda mjerenja fizičkih učinaka, metode analize koristi, analiza troškova i efektivnosti (C/E), analiza koristi i troškova (B/C) i dr.. U svim dosadašnjim istraživanjima i provedenim mjerenjima u naravi kooperativni sustavi su pokazali značajne prednosti i s tim mogućnosti buduće primjene. To između ostalog pokazuju i rezultati projekta ICSI, prikazanog u ovom radu.

7 ZAHVALA

Istraživanje prikazano u ovom radu potpomognuto je sredstvima kroz FP7 projekt: Intelligent Cooperative Sensing for Improved traffic efficiency - ICSI (FP7-317671)

8 LITERATURA

[1] Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Wangand, Y., Kotsialos, A.: Review of Road Traffic Control Strategies, Proceedings of the IEEE, Vol. 91, No. 12, 2003, pp. 2043 - 2067.

[2] Papamichaila, I., Kotsialos, A., Margonisa, I., Papageorgiou, M.: Coordinated ramp metering for freeway networks – A model-predictive hierarchical control approach, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 18, Iss. 3, 2010, pp. 311 – 331

[3] Gregurić, M., Ivanjko, E., Mandžuka, S.: Cooperative ramp metering simulation, Proceedings of 37th International Convention on Information and Communication Technology,

Electronics and Microelectronics (MIPRO2014), May 26-30 2014, pp. 970–975.

[4] Mandžuka, S., Ivanjko, E., Vujić, M., Škorput, P., Gregurić, M.: The Use of Cooperative ITS in Urban Traffic Management, Intelligent Transport Systems: Technologies and Applications, Asier Perallos, Unai Hernandez-Jayo, Enrique Onieva, Ignacio Julio García-Zuazola (ur.). New York: John Wiley & Sons, Inc, 2015. pp. 14.1-14.12

[5] Gregurić, M., Ivanjko, E., Mandžuka, S.: New concepts for urban highways control, REAL CORP 2014. - Clever plans for smart cities, Vienna, Austria, 19. – 20. May, 2014.

[6] Davies, J.; Grobelnik, M.; Mladenec, D.: Semantic knowledge management: Integrating ontology management, knowledge discovery and human language technologies. Springer. Berlin. 2009.

[7] Škorput, P.; Mandžuka, S.; Kljaić, Z.: Applying of Semantic Web in the Critical Infrastructure Protection Management in 19th Telecommunications. Forum (TELFOR 2011). Belgrade. 2011.

[8] Škorput, P.: Model otvorene ontologije kooperativnih inteligentnih transportnih sustava. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti. Zagreb. 2014.

[9] Vujić, M.: Sustav dinamičkih prioriteta za vozila javnoga gradskoga prijevoza u automatskom upravljanju prometom, doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2013.

[10] Mandžuka, S., Gregurić, M., Novačko, L.: Mogućnosti primjene upravljanja priljevnim tokovima na zagrebačkoj obilaznici, Peti hrvatski kongres o cestama, Hrvatsko društvo za ceste - ViaVita, Dubrovnik, 2011.

[11] Shoup, D. C.: "Free Parking or Free Markets", Access Magazine, 38, 2011., pp. 28,

[12] TomTom European Traffic Indeks, TomTom International BV, 2014.,

[13] Čelić, J.: "Primjena kooperativnog pristupa u sustavima upućivanja vozila na parkiranje", doktorski rad, Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2015.