

Adaptibilno upravljanje svetlosnom signalizacijom: primer primene sistema FUSION u regiji Tees Valley⁷

Petar Bogdanović, Yunex Traffic, Beograd, petar.bogdanovic@yunextraffic.com

Aleksandra Obradović, Yunex Traffic, Beograd,

aleksandra.obradovic.ext@yunextraffic.com

Katarina Tadić, Yunex Traffic, Beograd, katarina.tadic@yunextraffic.com

Vukašin Terzić, Yunex Traffic, Beograd, vukasin.terzic.ext@yunextraffic.com

Rezime: Upravljanje saobraćajem u urbanim sredinama zahteva primenu sistema koji mogu da usklade rad svetlosne signalizacije sa promenljivim saobraćajnim zahtevima. Tradicionalni pristupi, zasnovani na fiksnim signalnim planovima, lokalnom upravljanju pojedinačnim raskrsnicama ili koordinaciji ograničenih koridora, ne pružaju uvek dovoljan nivo prilagodljivosti u uslovima promenljive potražnje. U radu je prikazan sistem FUSION kompanije Yunex Traffic, razvijen kao rešenje nove generacije za adaptibilno i koordinisano upravljanje svetlosnom signalizacijom na nivou mreže. Sistem koristi postojeću detekcionu infrastrukturu, podatke o stanju saobraćaja u realnom vremenu i algoritme za istovremenu optimizaciju više raskrsnica, bez potrebe za potpunom zamenom postojeće svetlosne semaforске opreme. Poseban osvrt dat je primeni u regiji Tees Valley u Velikoj Britaniji, gde je FUSION uveden na 196 semaforizovanih raskrsnica u okviru 57 koordinisanih područja. Rezultati praćenja i evaluacije ukazuju na smanjenje prosečnog vremenskog gubitka po vozilu u odnosu na prethodni način upravljanja, veću pouzdanost vremena putovanja i naročito izražene koristi na opterećenim, koordinisanim koridorima.

Ključne reči: adaptibilno upravljanje, svetlosna saobraćajna signalizacija, FUSION, mrežna optimizacija, vreme putovanja

1 UVOD

Savremene urbane sredine suočavaju se sa rastom mobilnosti i sve većim zahtevima za prevozom ljudi i robe. Istovremeno, mogućnosti proširenja putne infrastrukture često su ograničene prostorom, troškovima i zahtevima održivog razvoja. Zbog toga unapređenje načina korišćenja postojećih infrastrukturnih kapaciteta predstavlja jedan od ključnih zadataka savremenog upravljanja saobraćajem.

Jedan od najvažnijih elemenata upravljanja urbanom saobraćajnom mrežom jeste upravljanje svetlosnom signalizacijom. Način na koji su signalni programi projektovani i prilagođeni stvarnim uslovima direktno utiče na vreme putovanja, dužinu redova na raskrsnicama, broj zaustavljanja, pouzdanost putovanja i ukupnu efikasnost mreže. Klasični sistemi se u velikoj meri oslanjaju na unapred definisane signalne planove, dok sistemi sa detekcijom omogućavaju lokalno reagovanje na trenutnu potražnju, odnosno trenutne saobraćajne zahteve. Razvoj detekcionih i komunikacionih tehnologija, kao i

⁷ CC-BY licenca

dostupnost podataka u realnom vremenu, omogućili su prelazak ka sistemima koji koordinisano optimizuju rad većeg broja raskrsnica. Rešenja kao što su Vehicle Actuated (VA) – detektorski rad, MOVA i SCOOT predstavljaju važne faze tog razvoja [4,5], dok sistemi novije generacije, među kojima je FUSION, proširuju optimizaciju na šire delove mreže [1,2,3].

Cilj ovog rada jeste da prikaže razvoj i osnovne principe adaptibilnog upravljanja svetlosnom signalizacijom, sa posebnim osvrtom na sistem FUSION i njegovu primenu u regiji Tees Valley u Velikoj Britaniji. Kroz analizu načina funkcionisanja sistema i rezultata postignutih tokom implementacije, nastoji se da se ukaže na mogućnosti koje savremeni inteligentni transportni sistemi pružaju u unapređenju upravljanja urbanim saobraćajem i povećanju efikasnosti transportnih mreža.

2 RAZVOJ I SAVREMENI PRISTUPI UPRAVLJANJU SVETLOSNOJ SIGNALIZACIJOM

2.1 *Razvoj sistema upravljanja svetlosnom signalizacijom*

Upravljanje svetlosnom signalizacijom predstavlja jedan od osnovnih instrumenata za regulisanje saobraćajnih tokova u urbanim sredinama. Njegov cilj je da, uz očuvanje bezbednosti svih učesnika, raspoloživo vreme i kapacitet raskrsnice raspodeli u skladu sa saobraćajnim zahtevima. Razvoj sistema upravljanja tekao je od vremenski zavisnih programa ka rešenjima koja koriste detekciju i obradu podataka u realnom vremenu [4].

Prvi sistemi upravljanja zasnivali su se na unapred definisanim signalnim planovima koji su se aktivirali prema dobu dana. Takav pristup je jednostavan i predvidiv, ali ne uzima neposredno u obzir trenutne promene saobraćajnog opterećenja. Zbog toga fiksni planovi teže reaguju na neočekivane poremećaje, zagušenja i promene u raspodeli tokova tokom dana.

Razvojem detekcione opreme uvedeni su sistemi koji mogu da reaguju na trenutno stanje saobraćaja. Podaci sa detektora, ugrađenih u kolovoz ili postavljenih iznad saobraćajnice, omogućili su prilagođavanje trajanja pojedinih signalnih stanja stvarnoj potražnji i smanjenje nepotrebnih zadržavanja na raskrsnicama [5]. Time je napravljen prelaz sa isključivo vremenski zavisnog ka saobraćajno zavisnom upravljanju.

Dalji razvoj senzorske tehnologije, komunikacionih sistema i obrade podataka omogućio je da se optimizacija više ne posmatra samo na nivou jedne raskrsnice. Savremeni pristupi sve više povezuju veći broj semaforizovanih raskrsnica i koridora, kako bi se odluke donosile na osnovu šire slike stanja na mreži. Takav pristup stvara uslove za bolju koordinaciju, pouzdanija vremena putovanja i efikasnije reagovanje na promene potražnje [1,2,3].

2.2 *Adaptibilni sistemi upravljanja svetlosnom signalizacijom*

Adaptibilni sistemi upravljanja automatski prilagođavaju parametre rada svetlosne signalizacije promenama saobraćajnih uslova. Za razliku od fiksnih planova, oni koriste podatke sa detektora i drugih raspoloživih izvora kako bi izbor i trajanje signalnih stanja uskladili sa trenutnim potrebama saobraćajne mreže. Razlike između pojedinih sistema ogledaju se, između ostalog, u prostornom nivou na kojem se optimizacija sprovodi - od jedne raskrsnice do koordinisanih regiona i širih delova mreže.

Vehicle Actuated (VA) – detektorski rad predstavlja osnovni oblik saobraćajno zavisnog upravljanja. Na osnovu podataka sa lokalnih detektora sistem registruje prisustvo ili odsustvo zahteva i, u okviru definisanih ograničenja, produžava ili završava pojedina signalna stanja. Prednost ovog pristupa je relativna jednostavnost, dok je osnovno ograničenje to što se odluke donose prvenstveno na nivou pojedinačne raskrsnice, bez sagledavanja stanja na okolnoj mreži [1].

MOVA (Microprocessor Optimised Vehicle Actuation) predstavlja napredniji pristup optimizaciji rada pojedinačne raskrsnice. Sistem koristi detektovanu saobraćajnu potražnju za optimizaciju signalnih vremena, sa ciljem smanjenja vremenskih gubitaka i efikasnijeg korišćenja kapaciteta. MOVA je široko primenjivan u Velikoj Britaniji i naročito je pogodan za izolovane raskrsnice ili lokacije na kojima mrežna koordinacija nije primarni zahtev [1,5].

SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique) omogućava koordinisano adaptibilno upravljanje većim brojem raskrsnica unutar definisanog koridora ili oblasti. Sistem kontinuirano prati saobraćajne uslove i prilagođava ključne parametre upravljanja, uključujući raspodelu zelenog vremena, dužinu ciklusa i vremenske odnose između susednih raskrsnica. Na taj način poboljšava progresiju duž koridora i omogućava koordinisan odgovor na promene potražnje [1,4].

FUSION nadograđuje ove pristupe primenom koordinisane optimizacije na nivou grupa raskrsnica, koridora i širih delova mreže. Sistem integriše podatke u realnom vremenu iz postojeće detekcione infrastrukture i drugih raspoloživih izvora, a zatim naprednim algoritmima istovremeno prilagođava strategije upravljanja na više lokacija. Time se omogućava efikasnije upravljanje saobraćajnim zahtevima, ranije reagovanje na nastanak zagušenja i pouzdaniji rad mreže u promenljivim uslovima [1,2,3].

Razvoj sistema upravljanja može se posmatrati kao postepeno širenje nivoa optimizacije: VA reaguje lokalno, MOVA optimizuje rad pojedinačne raskrsnice, SCOOT koordinisano upravlja koridorom ili oblašću, dok FUSION omogućava naprednu koordinisanu optimizaciju na nivou šire mreže ili regiona [1]. Ipak, to ne znači da je jedan metod univerzalno najbolji. Izbor odgovarajućeg načina upravljanja zavisi od karakteristika lokacije, nivoa potražnje, međusobnog uticaja raskrsnica i operativnih ciljeva [1].

3 SISTEM FUSION I PRIMENA U REGIJI TEES VALLEY

FUSION je sistem kompanije Yunex Traffic namenjen adaptibilnoj optimizaciji rada svetlosne signalizacije na nivou mreže. Funkcioniše u okviru postojeće infrastrukture, koristi podatke o saobraćaju u realnom vremenu i koordinisano prilagođava upravljačke strategije na više raskrsnica istovremeno. Za razliku od pristupa usmerenih pre svega na izolovanu raskrsnicu, FUSION sagledava međusobni uticaj više lokacija, prepoznaje promene potražnje i nastanak zagušenja i na osnovu toga usklađuje rad svetlosne signalizacije radi poboljšanja performansi mreže [1,2,3].

Regija Tees Valley, na severoistoku Engleske, obuhvata pet lokalnih samouprava i predstavlja jednu od najvećih komercijalnih implementacija sistema FUSION izvan Londona u trenutku objavljivanja projektnog izveštaja. Projekat je realizovan u okviru šireg „Digital Transport Programme“ programa sa ciljem unapređenja efikasnosti upravljanja regionalnom mrežom [1].

Implementacijom su obuhvaćeni:

- 196 semaforizovanih raskrsnica;
- 57 koordinisanih regiona;
- svetlosna signalizacija na teritoriji pet lokalnih samouprava regije Tees Valley;
- postojeće UTMC okruženje i raspoloživa detekciona infrastruktura [1].

Važna karakteristika projekta jeste integracija sa postojećom infrastrukturom, bez potrebe za njenom potpunom zamenom. FUSION je uveden fazno i uklopljen u postojeće postojeće UTMC (Urban Traffic Management and Control) okruženje za upravljanje i kontrolu urbanog saobraćaja i raspoloživa detekciona infrastruktura, uz saradnju regionalne uprave, lokalnih samouprava i operativnih timova. Takav pristup omogućio je da se konfiguracija i strategije optimizacije proveravaju i dorađuju tokom implementacije, uz očuvanje stabilnog rada aktivne saobraćajne mreže [1].

4 ANALIZA REZULTATA IMPLEMENTACIJE I ŠIRI KONTEKST PRIMENE

Efikasnost sistema FUSION analizirana je poređenjem performansi pre i nakon njegove implementacije, korišćenjem podataka o vremenu putovanja dobijenih metodom Floating Vehicle Data (FVD) – plutajuće vozilo. Jedan od osnovnih pokazatelja bio je prosečan vremenski gubitak po vozilu, definisan kao razlika između ostvarenog vremena putovanja i referentnog vremena putovanja u uslovima slobodnog toka. Na taj način vremenski gubitak obuhvata dodatno vreme putovanja nastalo usled zadržavanja na raskrsnicama, formiranja redova, zagušenja i drugih uticaja saobraćajnih uslova. Analiza je prvenstveno sprovedena tokom vršnih perioda radnih dana, kada su saobraćajni zahtevi najveći [1].

Rezultati pokazuju merljiva poboljšanja na većini analiziranih lokacija, pri čemu su najveći efekti ostvareni na opterećenim i koordinisanim koridorima. Na South Stockton Bypass koridoru, gde je poređenje izvršeno sa SCOOT sistemom, zabeležena su vršna smanjenja prosečnog vremenskog gubitka po vozilu veća od 50%. Poboljšanja su utvrđena i na lokacijama Thornaby Road/Parkway i Norton Road u odnosu na MOVA, naročito u periodima izražene potražnje [1].

Istovremeno, evaluacija pokazuje da veličina koristi zavisi od karakteristika lokacije. Na izolovanoj raskrsnici Acklam Road/Ayresome Street efekat je bio neutralan do umeren, jer je postojeći način upravljanja već radio efikasno. Nasuprot tome, najveći efekti zabeleženi su tamo gde je bilo moguće koordinisano optimizovati više raskrsnica i upravljati širenjem redova duž koridora. Agregirana analiza pokazala je i značajne godišnje uštede vremena putovanja; u posmatranim regionima procenjene uštede kretale su se od približno 255 do 2.780 sati godišnje [1].

Ovi rezultati ukazuju da FUSION ne treba posmatrati kao univerzalnu zamenu za postojeće metode upravljanja, već kao deo fleksibilnog skupa alata koji uključuje VA, MOVA i druge odgovarajuće strategije. Dugoročne performanse zavise i od kvaliteta detektorskih podataka, pouzdanosti komunikacija, periodičnog pregleda konfiguracije i prilagođavanja promenama na mreži.

Rezultate ostvarene u regiji Tees Valley potrebno je posmatrati u širem kontekstu razvoja savremenih sistema za upravljanje saobraćajem, koji se sve više zasnivaju na integraciji podataka, adaptibilnom upravljanju i koordinaciji većeg broja raskrsnica. Primer primene takvog pristupa predstavlja i Beograd, gde projekat modernizacije svetlosne

signalizacije obuhvata više od 300 semaforizovanih raskrsnica i formiranje adaptibilnih zona upravljanja. U okviru sistema Yuttraffic Motion, signalni planovi se prilagođavaju na osnovu podataka o trenutnim saobraćajnim uslovima, dok je dodatno uvedena i prioritizacija tramvajskog saobraćaja primenom sistema Yuttraffic Stream. Na taj način adaptibilno upravljanje, pored optimizacije individualnog motornog saobraćaja, može da se koristi i za unapređenje pouzdanosti i atraktivnosti javnog prevoza [6].

Dalji razvoj ovakvih sistema usmeren je ka njihovom povezivanju sa sveobuhvatnim platformama za upravljanje saobraćajem. Yuttraffic Symphony predstavlja platformu koja objedinjuje funkcije nadzora i upravljanja svetlosnom signalizacijom, adaptibilnog upravljanja, prioritizacije određenih kategorija učesnika i drugih ITS funkcionalnosti. Na taj način pojedinačni sistemi i funkcije više se ne posmatraju kao izolovana rešenja, već kao deo jedinstvenog okruženja za upravljanje saobraćajem i mobilnošću [7].

Pored operativnog upravljanja mrežom, sve veći značaj ima i mogućnost analize njenog budućeg ponašanja. U tom kontekstu, Yuttraffic Studio predstavlja okruženje za naprednu analizu, modeliranje i simulaciju saobraćaja, u kojem se podaci o stanju mreže mogu koristiti za procenu budućih uslova i ispitivanje efekata različitih upravljačkih mera pre njihove primene u realnom sistemu [8]. Time se otvara mogućnost prelaska sa upravljanja koje se prilagođava trenutnom stanju ka proaktivnom i prediktivnom upravljanju, uz sve veću primenu napredne analitike i metoda veštačke inteligencije.

5 ZAKLJUČAK

Adaptibilno upravljanje svetlosnom signalizacijom predstavlja važan pravac razvoja inteligentnih transportnih sistema, posebno u urbanim sredinama u kojima povećanje potražnje nije moguće rešavati isključivo proširenjem putne infrastrukture. Korišćenjem podataka o stvarnom stanju saobraćaja i dinamičkim prilagođavanjem upravljačkih parametara moguće je efikasnije koristiti postojeće kapacitete i povećati pouzdanost funkcionisanja mreže.

FUSION predstavlja korak ka upravljanju na nivou šire mreže saobraćajnica, jer istovremeno razmatra uslove na više raskrsnica i koordinisano prilagođava njihove strategije rada. Posebna praktična vrednost sistema ogleda se u mogućnosti integracije sa postojećom svetlosnom semaforskom infrastrukturom i postojeće UTMC (Urban Traffic Management and Control) okruženje za upravljanje i kontrolu urbanog saobraćaja i raspoloživa detekciona infrastruktura, čime se unapređenje upravljanja može ostvariti bez potpune zamene postojeće opreme [1,2]. Rezultati implementacije u regiji Tees Valley potvrđuju da ovakav pristup može ostvariti značajne koristi, naročito na opterećenim i koordinisanim koridorima. Sistem je uveden na 196 semaforizovanih raskrsnica u 57 koordinisanih regiona, a na pojedinim lokacijama ostvareno je smanjenje prosečnog vremenskog gubitka po vozilu veće od 50% u odnosu na prethodni način upravljanja. [1].

Zbog toga je za uspešnu primenu od ključnog značaja pravilno odabrati lokacije, obezbediti pouzdanu detekciju i komunikacije i kontinuirano pratiti performanse nakon puštanja sistema u rad. FUSION treba koristiti kao deo šireg skupa metoda upravljanja, uz izbor strategije koja najbolje odgovara konkretnim saobraćajnim uslovima. Dalji razvoj u Tees Valley-u usmeren je i ka povezivanju realnog upravljanja sa analitičkim i prediktivnim mogućnostima saobraćajnog digitalnog blizanca [1].

Dalji razvoj adaptibilnih sistema upravljanja očekivano će biti usmeren ka njihovom povezivanju sa integrisanim platformama za upravljanje saobraćajem, digitalnim blizancima, naprednom analitikom podataka i metodama veštačke inteligencije. Povezivanje upravljanja u realnom vremenu sa simulacionim i prediktivnim modelima otvara mogućnost prelaska sa adaptibilnog, odnosno reagovanja na trenutno stanje, ka proaktivnom upravljanju u kojem se budući saobraćajni uslovi mogu proceniti, a efekti različitih upravljačkih strategija analizirati pre njihove primene. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da mrežno, podacima vođeno upravljanje svetlosnom signalizacijom predstavlja efikasan način za bolje korišćenje postojeće infrastrukture i saobraćajne mreže. Primer Tees Valley-a istovremeno pokazuje da tehnološko rešenje daje najbolje rezultate kada je praćeno kvalitetnim podacima, odgovarajućim izborom lokacija, kontinuiranom optimizacijom i dobrom saradnjom između upravljača mreže i dobavljača sistema.

LITERATURA

- [1] Fryer, S. FUSION – Next Generation Adaptive Traffic Control: Tees Valley Project Report. Tees Valley Combined Authority, 2025.
- [2] Yunex Traffic. Yuttraffic FUSION Adaptive Traffic Control. Dostupno na: <https://www.yunextraffic.com/portfolio/urban/mobility-management/adaptive-traffic-control/>. [yunextraffic.com]
- [3] Hamilton, A., Snowdon, J. i dr. Adaptive Control for Today's Road Users: Real-Life Deployments, Real-Life Learnings. Yunex Traffic, 2023. [yunextraffic.com]
- [4] Hunt, P. B., Robertson, D. I., Bretherton, R. D., Winton, R. I. SCOOT: A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals. TRRL, 1981.
- [5] Vincent, R. A., Peirce, J. R. MOVA: Traffic Responsive Self Optimising Signal Control for Isolated Intersections. TRRL Laboratory Report.
- [6] Yunex Traffic Serbia. Adaptive Traffic Control and Traffic Management in Belgrade. [yunextraffic.com]
- [7] Yunex Traffic. Yuttraffic Symphony Traffic Management Platform. [yunextraffic.com]
- [8] ITS International. Yuttraffic Studio: Revolutionising Traffic Management, 2024. [itsinternational.com]

SUMMARY

Adaptive Traffic Signal Control: A Case Study of the FUSION System Deployment in the Tees Valley Region

Abstract: Urban traffic management increasingly requires systems capable of adapting traffic signal operation to changing demand. Traditional fixed-time plans and locally responsive control do not always provide sufficient flexibility when conditions vary across a wider network. This paper presents Yunex Traffic's FUSION system, a next-generation solution for adaptive and coordinated traffic signal control at network level. FUSION uses existing detection infrastructure, real-time traffic data and optimisation algorithms to coordinate multiple junctions without requiring wholesale replacement of the existing signal equipment. Particular attention is given to the deployment in the Tees Valley, United Kingdom, where the system has been implemented across 196 signalised junctions in 57 coordinated site regions. Monitoring and Evaluation results indicate reductions in delay, improved journey time reliability and the greatest benefits on high-demand, coordinated corridors. The findings also show that performance depends on site characteristics and that FUSION is most effective when applied as part of a flexible traffic-control toolkit.

Key words: adaptive traffic control, traffic signals, FUSION, network optimisation, journey time.