

## NOVE METRIKE RUTIRANJA ZA SMANJENJE OVERHEAD-A U DINAMIČKIM AD HOC MREŽAMA

Marija Malnar, Nenad Jevtić, Pavle Bugarčić  
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
m.malnar@sf.bg.ac.rs; n.jevtic@sf.bg.ac.rs; p.bugarcic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Sa porastom popularnosti bežičnih ad hoc mreža (*Wireless Ad hoc NETWORKS*, *WANETS*) raste i broj mobilnih čvorova koji u njima figurišu. Imajući u vidu da se u takvim mrežama topologija dinamički menja, protokole rutiranja, inicijalno predložene za statičke mreže, neophodno je unaprediti. Jedan od načina za obezbeđivanje boljih mrežnih performansi je uvođenje odgovarajućih metrika rutiranja, kao što je često korišćena *Expected Transmission Count (ETX)* metrika. Međutim, primenom *ETX* metrike overhead rutiranja raste i to je čini nepogodnom u mrežama sa velikim brojem mobilnih čvorova. Kako bi se taj problem rešio, u ovom radu su predložene tri metrike zasnovane na *ETX* metrici, nazvane *Light ETX (L-ETX)*, *Light Reverse ETX (LR-ETX)* i *Power Light Reverse ETX (PLR-ETX)* koje smanjuju overhead, a istovremeno poboljšavaju druge mrežne performanse. U cilju testiranja uticaja predloženih metrika na mrežne performanse, sve tri metrike su implementirane u mrežni simulator *Network Simulator 3 (NS-3)* u okviru *Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV)* protokola rutiranja i upoređene su njihove performanse.

**Ključne reči:** *WANETS*, protokoli rutiranja, metrike rutiranja, *ETX*

### 1. Uvod

Moderne telekomunikacije ne mogu se zamisliti bez konstantnog korišćenja različitih bežičnih mreža. Širok spektar svakodnevnih mobilnih aplikacija povećava potrebu za bežičnim ad hoc mrežama (*Wireless Ad hoc NETWORKS*, *WANETS*) koje kombinuju bežičnu komunikaciju sa visokim stepenom mobilnosti čvorova. Dinamičke *WANET* arhitekture najčešće se mogu implementirati u formi mobilnih ad hoc mreža (*Mobile Ad hoc NETWORKS*, *MANETS*) ili kao ad hoc mreže vozila (*Vehicle Ad hoc NETWORKS*, *VANETS*). Imajući u vidu da se topologija ovih mreža brzo menja, veoma je važno pronaći optimalnu putanju između izvorišnog i odredišnog čvora u realnom vremenu. Iz tog razloga, izbor odgovarajućeg protokola i metrike rutiranja mogu u mnogome poboljšati pouzdanost i performanse dinamičkih *WANET* mreža.

Većina popularnih protokola rutiranja koriste metriku najkraće putanje (*hop-count*) kao podrazumevanu metriku, međutim ona često ne bira najbolju putanju između izvorišnog i odredišnog čvora. Kod dinamičkih mreža, kao što su *MANET* i *VANET*, ovaj

problem je evidentniji jer se kvalitet izabrane putanje menja u toku vremena, povećava se broj prekida linkova usled udaljavanja čvorova, pa se i procenat izgubljenih paketa povećava. Kako bi se prevazišli problemi koje ima *hop-count* metrika, posebno kako bi se povećao protok i procenat izgubljenih paketa (*Packet Loss Ratio*, PLR) u [1] je predložena metrika *Expected Transmission Count* (ETX). Međutim, za njeno izračunavanje potrebno je uvesti dodatne kontrolne pakete, *Link Probe Packets* (LPP), pa se uvođenjem ETX metrike povećava *overhead* rutiranja. *Overhead* je još veći kod mreža sa mobilnim čvorovima zbog česte promene mrežne topologije, pa samim tim i većeg broja pokretanja procedura otkrivanja putanje (*route discovery*). Imajući sve ovo u vidu, u ovom radu su predložene tri nove metrike koje se baziraju na ETX, nazvane *Light ETX* (L-ETX), *Light Reverse ETX* (LR-ETX) i *Power Light Reverse ETX* (PLR-ETX). Metrike su predložene sa ciljem da se smanji *overhead* rutiranja, a istovremeno poboljšaju ostale mrežne performanse, posebno za dinamičke *ad hoc* mreže. Kako bi se uporedile performanse predloženih metrika, sve tri, kao i ETX implementirane su u mrežni simulator *Network Simulator 3* (NS-3) [2] i uključene u *Ad hoc On-demand Distance Vector* (AODV) [3] protokol rutiranja.

Ostatak rada organizovan je na sledeći način. U drugom poglavlju opisane su predložene metrike rutiranja. Simulacioni rezultati i diskusija vezana za dobijene performanse data je u poglavlju 3. Poslednje poglavlje daje zaključna razmatranja i ideje za budući rad.

## 2. Predložene metrike rutiranja koje se baziraju na ETX

U ovom poglavlju opisane su tri nove metrike, *Light ETX*, *Light Reverse ETX* i *Power Light Reverse ETX*, bazirane na ETX, predložene sa ciljem da poboljšaju mrežne performanse bez ikakvih hardverskih, a sa malim izmenama u softveru. Kako bi se bolje razumele predložene metrike, prvo je opisana često korišćena ETX metrika.

### 2.1. *Expected Transimission Count* (ETX) metrika

ETX metrika za link  $l$ , data je sa [1]:

$$ETX_l = 1 / (p_f \cdot p_r), \quad (1)$$

gde  $p_f$  predstavlja verovatnoću uspešne transmisije paketa, dok  $p_r$  predstavlja verovatnoću da paket potvrde (*ACKnowledgement*, ACK) bude uspešno primljen.

Verovatnoće  $p_f$  i  $p_r$  mere se pomoću posebnih kontrolnih paketa *Link Probe Packets* (LPPs) koji se difuzno emituju svakih  $\tau$  sekundi [1]. Da bi se izbegla sinhronizacija probnih paketa, periodi  $\tau$  se dodaje džiter od  $\pm 10\%$ . Imajući u vidu da su LPP paketi difuzni paketi koji se ne potvrđuju ACK paketima, izračunavanje verovatnoća  $p_f$  i  $p_r$  zahteva specijalnu tehniku. Svaki čvor pamti broj primljenih LPP paketa u poslednjih  $w$  sekundi čime je moguće izračunavanje verovatnoće  $p_r$  u bilo kom trenutku  $t$  kao [1]:

$$p_r = \frac{\text{count}(t-w, t)}{w / \tau}. \quad (2)$$

gde  $\text{count}(t-w, t)$  predstavlja broj LPP paketa primljenih tokom prozora  $w$ , a  $w/\tau$  je broj LPP paketa koji je tokom istog perioda trebalo da bude primljen. Na ovaj način neki čvor X može jednostavno da izmeri  $p_r$  na osnovu broja uspešno primljenih LPP paketa od njegovog suseda Y. Međutim, kako nema ACK paketa, čvor X ne može, na ovaj način, da

odredi verovatnoću  $p_f$ . Iz tog razloga, svaki LPP paket poslat od čvora Y sadrži i broj LPP paketa primljenih od X tokom poslednjih  $w$  sekundi i sa ovom vrednošću čvor X može da izračuna  $p_f$ . Za određivanje optimalne veličine prozora  $w$  korišćen je empirijski metod opisan u [1]. Na osnovu eksperimenata pronađeno je da se za vrednost  $w=10\tau$  dobijaju pouzdani rezultati. Najčešće se za  $\tau$  uzima vrednost 1s.

Metrika putanje od izvorišnog do odredišnog čvora dobija se kao suma svih ETX vrednosti za svaki od linkova  $l$  na putanji [1]:

$$ETX_{route} = \sum_{l \in route} ETX_l . \quad (3)$$

ETX metrika pokazala je bolje rezultate od *hop-count*, ali jedna od glavnih mana ove metrike je povećani *overhead* usled generisanja dodatnih LPP paketa. Imajući u vidu da se globalno performanse kod statičkih mreža sa malim brojem čvorova poboljšavaju, ovaj *overhead* je moguće tolerisati. Međutim, sa porastom gustine mreže kod dinamičkih WANET mreža, broj kontrolnih paketa rutiranja raste. Generisani *overhead* rutiranja takođe utiče i na degradaciju ostalih mrežnih indikatora pa se pozitivan efekat koji je dobijen uvođenjem ETX metrike značajno smanjuje. Iz tog razloga, u narednim poglavljima, opisane su tri nove metrike koje se baziraju na ETX metrici, ali su formirane sa ciljem da smanje *overhead* i istovremeno poboljšaju ostale mrežne performanse.

## 2.2. Light ETX (L-ETX) metrika

Prva predložena modifikacija ETX metrike, L-ETX, dizajnirana je sa ciljem da smanji veličinu ETX polja u kontrolnim paketima rutiranja. Ovo je urađeno jer originalna ETX metrika, definisana sa (1), može imati vrednosti od 1 (kada su i  $p_r$  i  $p_f$  jednake 1) do beskonačnosti (kada je bar jedna od verovatnoća  $p_r$  ili  $p_f$  jednaka nuli), pri čemu su moguće vrednosti neuniformno raspoređene, tj. male vrednosti oko 1 su veoma česte, dok su velike vrednosti retke. Iz tog razloga za prezentaciju ETX metrike treba koristiti *floating point* broj, što dovodi do uvođenja dodatnih bar 4 bajta za ETX polje u *Route REQuest* (RREQ) i *Route REPlay* (RREP) kontrolnim paketima.

Da bi se ETX polje smanjilo na 1 bajt, metrika za link  $l$  definiše se kao:

$$L - ETX_l = \lceil 60 \cdot \log_{10} (ETX_l) \rceil , \quad (4)$$

gde je  $ETX_l$  metrika data sa (1).

Logaritamska funkcija je korišćena da bi se metrika "linearizovala" tj. povećala razlika između bliskih vrednosti oko  $ETX=1$ , a smanjila razlika za veoma velike vrednosti. Metrika se zatim zaokružuje na prvi veći ceo broj (*unsigned integer*) za koji je potreban 1 bajt. Kada se koristi (4), vrednosti za  $L-ETX_l$  mogu biti od 0 do 255, gde je 0 rezervisana za najbolje linkove, a 255 za najgore. Smanjenje ETX polja na veličinu od jednog bajta veoma je važno jer se u difuznim RREQ paketima mogu iskoristiti rezervisani biti u zaglavju paketa. Na ovaj način veličina RREQ paketa ostaje identična kao kod originalnog AODV protokola, i ne povećava se *overhead* rutiranja. Za RREP pakete neophodno je dodati polje za L-ETX metriku, ali RREP su unikast paketi i ovo dodatno polje ne povećava značajno ukupan *overhead*.

Koeficijent 60 u (4) izabran je eksperimentalno na osnovu serije simulacija kako bi se obezbedile najbolje performanse mreže. Međutim, koeficijent može varirati u širokom opsegu bez posebnog uticaja na dobijene rezultate. Ipak, značajno niže vrednosti ovog koeficijenta treba izbegavati jer se gubi efekat "linearizacije" koji je dobijen uvođenjem

logaritamske funkcije, pa se degradiraju performanse L-ETX metrike. Dosta veće vrednosti koeficijenta dovode do saturacije kod *multihop* putanja lošijeg kvaliteta.

### 2.3. Light Reverse ETX (LR-ETX) metrika

*Overhead* se dalje može smanjiti smanjenjem dužine LPP paketa. Kao što je već spomenuto, čvor može da izračuna povratnu verovatnoću  $p_r$  samo prebrojavanjem broja LPP paketa koje je primio od svojih suseda. Međutim, izračunavanje direktne verovatnoće uspešnog slanja LPP paketa,  $p_f$ , nije tako jednostavno zbog nedostatka ACK paketa. Kako bi se izračunala verovatnoća  $p_f$  svaki LPP paket mora da sadrži informaciju o broju LPP paketa koji su uspešno primljeni od njegovih suseda u poslednjih  $w$  sekundi. Na taj način, može se desiti da LPP paketi sadrže mnogo informacija, posebno ukoliko je broj suseda nekog čvora veliki. Takođe, što je veća gustina mreže, veći je i broj suseda, pa samim tim i veličina LPP paketa. Značajno poboljšanje može se ostvariti ukoliko su linkovi simetrični, tj. ako važi da je  $p_f \approx p_r$ , pa nije neophodno računati  $p_f$ . U tim slučajevima, predložena je LR-ETX za link  $l$  definisana sa:

$$LR - ETX_l = \left[ 60 \cdot \log_{10} (ETX_{r_l}) \right], \quad (5)$$

gd se  $ETX_{r_l}$  računa kao:

$$ETX_{r_l} = 1/p_r. \quad (6)$$

Kao što se vidi iz (6) za izračunavanje  $ETX_{r_l}$  koristi se samo povratna verovatnoća uspešnog prijema LPP paketa, pa je veličina difuznih LPP paketa fiksna i mala, čime se značajno smanjuje *overhead* rutiranja.

Iako je ovako dizajnirana LR-ETX metrika pogodna za mreže sa simetričnim linkovima, ona se takođe može koristiti za mreže sa asimetričnim linkovima, uz male modifikacije protokola rutiranja. U tom slučaju, dva polja za ETX treba uključiti u RREQ i RREP pakete koja bi istovremeno nosila informaciju o vrednosti ETX duž putanje u oba smera (od izvorišta do odredišta i od odredišta do izvorišta).

### 2.4. Power based Light Reverse ETX (PLR-ETX) metrika

ETX metrika ima još jednu manu koja je veoma vidljiva za mreže koje su veoma dinamičke. Kao što je već rečeno, LPP paketi se difuzno emituju svakih  $\tau$  sekundi i vodi se računa o njihovom broju tokom  $w$  sekundi kako bi se merio kvalitet linka. Ovi parametri se dobijaju eksperimentalno i najčešće se koristi vrednost  $w=10\tau$ , pri čemu se uzima  $\tau=1s$ . Međutim, vrednost  $w=10s$  može biti prevelika, tako da se ETX metrika previše sporo menja ukoliko se ove vrednosti usvoje u dinamičkim okruženjima.

Izborom manje vrednosti za  $w$ , metrika će imati brži odziv, ali će se rezolucija  $w/\tau$  smanjiti. Ukoliko se izabere manja vrednost za  $\tau$  doći će do povećanja rezolucije, ali će se povećati *overhead* usled češćeg slanja LPP paketa. U prethodnom radu autora [5] pokazano je da nivo signala na prijemu može da se iskoristi da se unapredi ETX metrika za statične čvorove. Za mobilne čvorove nivo snage na prijemu se takođe može iskoristiti kako bi se poboljšao dinamički odziv metrike bez povećanja *overhead*-a. Na osnovu toga, predložena je PLR-ETX metrika za link  $l$  definisana sa:

$$PLR - ETX_l = \left[ 60 \cdot \log \left( ETX_{r_l} \cdot (1 + 0,005 \cdot X) \right) \right] \quad (7)$$

gde je  $ETX_r$ , definisano u (6), a parametar  $X$  predstavlja uticaj nivoa snage signala na prijemu (*Receiver Signal Strength Indicator*, RSSI) na metriku, i definisan je sa:

$$X = \begin{cases} 0, & RSSI \geq 0 \text{ dBm} \\ |RSSI|, & -100 \text{ dBm} < RSSI < 0 \text{ dBm} \\ 100, & RSSI \leq -100 \text{ dBm} \end{cases} \quad (8)$$

Treba naglasiti da su, slično kao kod L-ETX i LR-ETX metrika, koeficijenti 60 i 0,005 izabrani eksperimentalno analiziranjem velikog broja simulacija, kako bi se dobile optimalne mrežne performanse. Iako su optimalni koeficijenti izabrani eksperimentalno, analiza je pokazala da vrednosti koeficijenata mogu biti u širokom opsegu bez velikog uticaja na performanse metrike.

Slične metrike zasnovane na nivou snage signala mogu se formulisati i za ETX i L-ETX, ali imajući u vidu da LR-ETX ima najveći potencijal u smanjenju *overhead*-a i poboljšanju drugih performansi, odlučili smo se da analiziramo samo PLR-ETX metriku.

### 3. Simulacioni rezultati

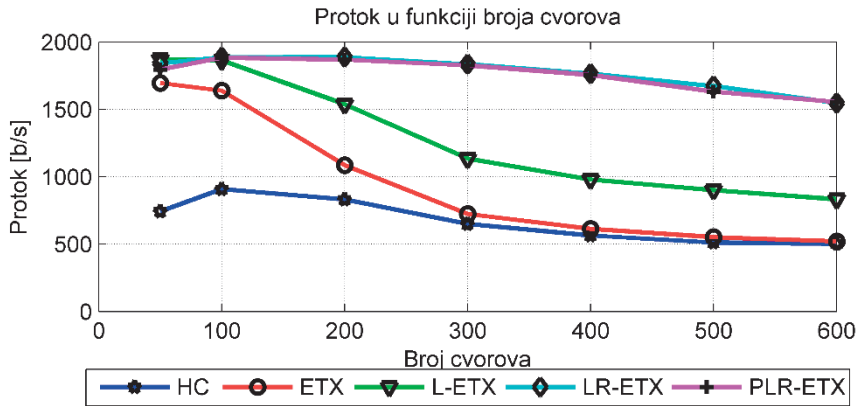
Analizirane su performanse predloženih metrika u slučaju jedne veoma dinamičke WANET mreže - VANET mreže u gradskim uslovima. Evaluacija performansi VANET mreže izvršena je u NS-3.29 simulatoru, na osnovu mrežnog *framework*-a (*Network Performance Analysis Framework*, NPAF) predloženog u [4, 6].

Vozila su raspoređena u gradskoj zoni površine 2000x2000m<sup>2</sup>, koja je podeljena na blokove 3x3. Kako NS-3 ne podržava *Manhattan grid* model, scenario mobilnosti je generisan korišćenjem BONNMOTION alata sa sledećim parametrima: rastojanje nakon kog se biraju nova brzina i pravac (*update distance*) je 5 m, verovatnoće za promenu brzine i pravca su obe 0,5, srednja brzina je 12 m/s, standardna devijacija brzine 0,6 m/s i verovatnoća da se vozilo zaustavi nakon ažuriranja rastojanja je podešena na nulu. Model mobilnosti učitani je u NS-3 korišćenjem NS-2 *trace* fajlova.

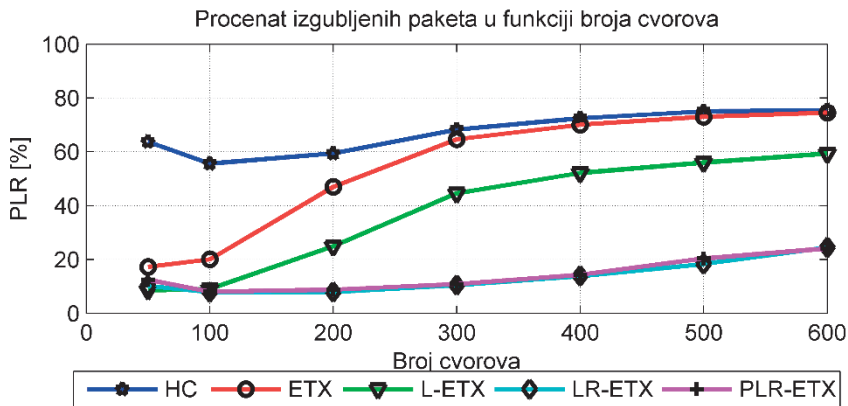
Za MAC pod-sloj korišćen je 802.11p sa 6 Mb/s protokom i 10 MHz propusnim opsegom. Kanali su modelovani na osnovu *YansWiFiChannel* kanala i *two-ray ground* propagacionog modela. Paketi su rutirani AODV protokolom rutiranja sa jednom od pet metrika: *hop-count*, ETX i tri predložene metrike L-ETX, LR-ETX i PLR-ETX. *User Datagram Protocol* (UDP) je korišćen na transportnom sloju. U svim scenarijima 10 slučajno raspoređenih vozila istovremeno generiše *Constant Bit Rate* (CBR) saobraćaj fiksne veličine paketa od 64 bajta brzinom od 2 kb/s.

Da bi se analizirao uticaj saobraćaja na performanse metrika, analizirano je nekoliko slučajeva, kada se mreža sastoji od 50, 100, 200, 300, 400, 500 i 600 vozila. U svakom slučaju za svih 5 metrika izvršeno je 100 simulacija sa različitim podešavajmima generatora slučajnih brojeva, a rezultati su dobijeni usrednjavanjem ovih simulacija.

Performanse dobijene predloženim L-ETX, LR-ETX i PLR-ETX metrikama upoređene su sa ETX i *hop-count* (HC) metrikama na osnovu nekoliko mrežnih indikatora dobijenih korišćenjem NPAF *framework*-a: protokol, *Packet Loss Ratio* (PLR), *Useful Traffic Ratio* (UTR), kao i nekoliko indikatora vezanih za kašnjenje sa kraja na kraj (*end-to-end delay*, *E2E delay*): maksimalno, srednje, medijana i džiter kašnjenja. Rezultati simulacija prikazani su na slikama 1-7.



Slika 1. Ostvareni protok

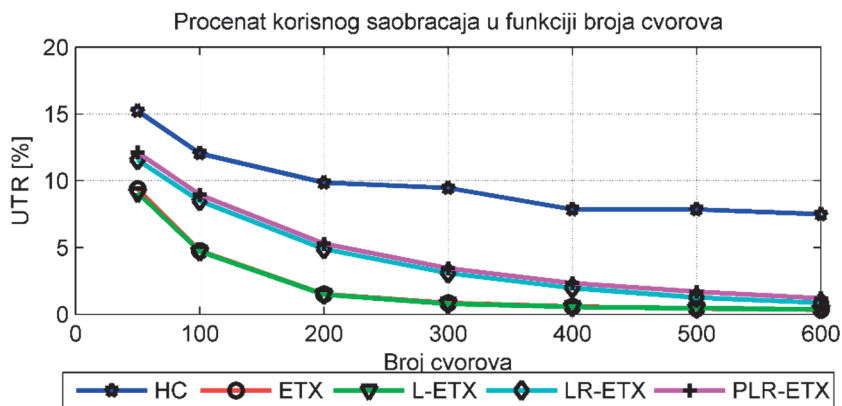


Slika 2. Packet Loss Ratio (PLR)

Poređenjem predloženih metrika po pitanju protoka i procenta izgubljenih paketa, PLR (slike 1 and 2), može se primetiti da protok i PLR pokazuju suprotno ponašanje, ukoliko protok raste, PLR opada i obrnuto. *Hop-count* metrika pokazuje najgore performanse sa veoma velikim PLR koji dostiže vrednosti oko 75%. Uvođenjem ETX metrike pronalaze se kvalitetnije putanje i samim tim se i PLR smanjuje. Ovo je očekivano za VANET mreže kod kojih je broj vozila mali. Međutim, sa porastom broja vozila, ETX metrika unosi veliki *overhead*, što dovodi do nepovezanosti mreže i velikog PLR. Imajući u vidu da je *overhead* korišćenjem L-ETX metrike smanjen u odnosu na ETX, njene performanse su bolje. Sa povećanjem broja vozila i L-ETX metrika pokazuje degradaciju u performansama, ali je PLR i dalje bolji za 10-15% nego kod ETX metrike. LR-ETX i PLR-ETX dodatno smanjuju *overhead* pa su rezultati značajno bolji nego kod L-ETX i ETX metrike. Poboľšanje PLR kod obe ove metrike u odnosu na ETX je za oko 50%. Rezultati su pokazali da je povratno brojanje LPP paketa dovoljno za izračunavanje pouzdane vrednosti metrike, a da se na račun te uštede može ostvariti značajno poboľšanje u performansama, posebno za veliki broj vozila.

Kada se analizira procenat korisnog saobraćaja na aplikativnom sloju u odnosu na ukupni saobraćaj na fizičkom sloju mreže, UTR (slika 3), može se primetiti da nezavisno

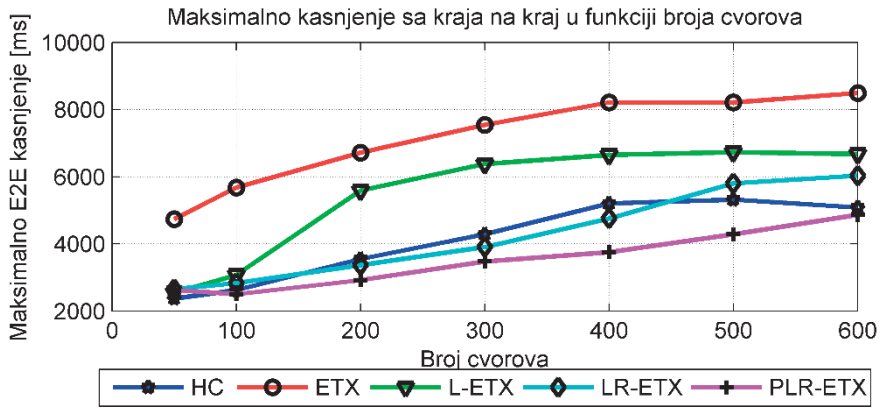
od korišćene metrike UTR opada, tj. *overhead* se povećava sa porastom broja vozila. Ponašanje metrika je očekivano. *Hop-count* metrika pokazuje najbolje performanse imajući u vidu da se kod nje ne uvodi dodatno slanje LPP paketa. ETX i L-ETX metrike se ponašaju gotovo identično. Za mali broj vozila LR-ETX i PLR-ETX značajno smanjuju *overhead* ETX metrike, ali za veći broj vozila, performanse se pogoršavaju za sve metrike koje se oslanjaju na ETX, iako PLR-ETX pokazuje najbolje rezultate. Ovo se može objasniti činjenicom da PLR-ETX uvek bira najpouzdanije putanje, što dovodi do smanjenja *overhead*-a jer dolazi do ređeg otkaza linka.



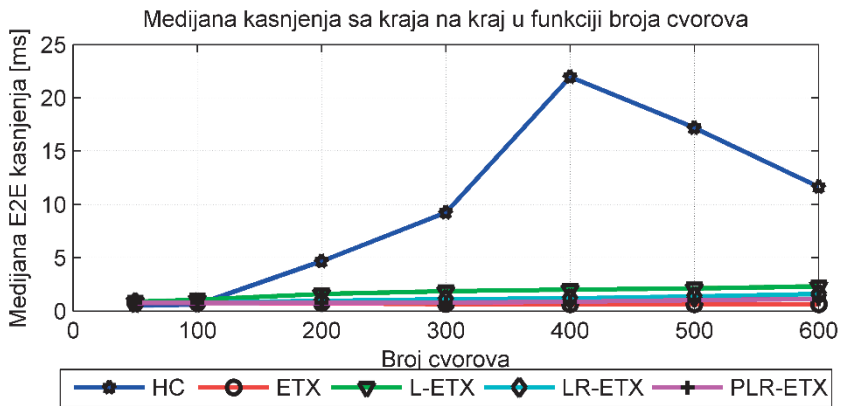
Slika 3. Procenatualni odnos korisnog i ukupnog saobraćaja

Poređenje rezultata vezanih za E2E kašnjenje dato je na slikama 4-7. Kako bi se naglasile razlike u predloženim metrikama, slike pokazuju maksimalno E2E kašnjenje, medijanu E2E kašnjenja, srednje E2E kašnjenje i džiter, respektivno. Analizirana su sva ova kašnjenja jer AODV protokol unosi veliko inicijalno kašnjenje pre nego što pronađe putanju od izvora do odredišta, dok u stabilnom stanju pokazuje mnogo manja kašnjenja.

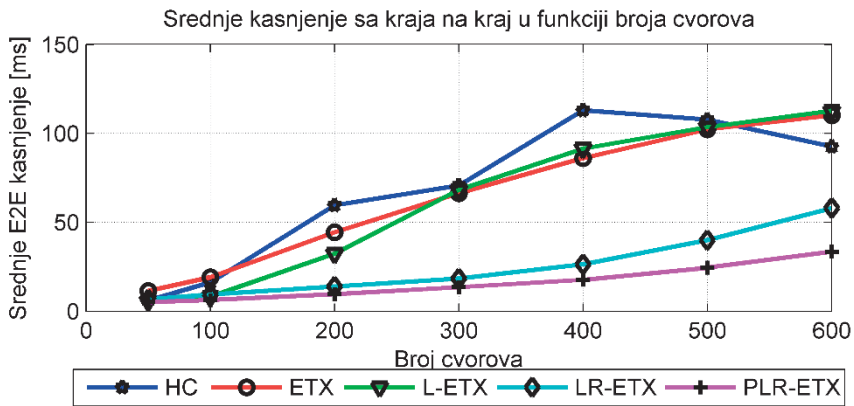
Inicijalno kašnjenje se najlakše analizira korišćenjem podatka o maksimalnom kašnjenju (slika 4), a kašnjenje u stabilnom stanju pomoću podataka o medijani kašnjenja (slika 5). ETX metrika pokazuje najgore performanse po pitanju inicijalnog kašnjenja, ali najbolje performanse u stabilnom stanju. Ovo je očekivano imajući u vidu da veliki *overhead* usporava proces otkrivanja putanje, ali kada su putanje konačno pronađene, pokazuje najmanje kašnjenje. *Hop-count* pokazuje najveće oscilacije u rezultatima u stabilnom stanju, ali bez obzira na ove velike oscilacije, u svakom testiranom scenariju i za različiti posmatrani broj vozila, predložene metrike daju mnogo bolje rezultate nego *hop-count*. Sve tri nove metrike pokazuju bolje performanse po pitanju inicijalnog kašnjenja nego ETX, ali PLR-ETX metrika pokazuje najbolje performanse, najmanje inicijalno kašnjenje i skoro istu medijanu kašnjenja kao ETX metrika.



Slika 4. Maksimalno E2E kašnjenje

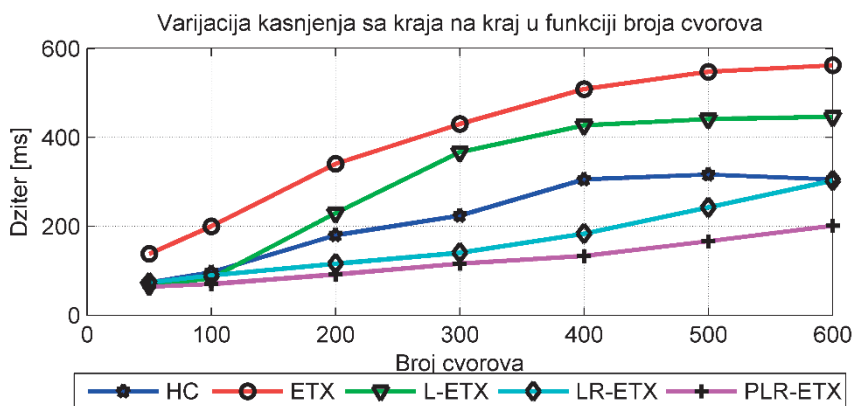


Slika 5. Medijana E2E kašnjenja



Slika 6. Srednje E2E kašnjenje





Slika 7. Džiter E2E kašnjenja

Srednja vrednost kašnjenja i džiter (slike 6 i 7) obezbeđuju sveobuhvatni pregled uticaja predloženih metrika na kašnjenje imajući u vidu da uključuju i inicijalno kašnjenje i kašnjenje u stabilnom stanju. LR-ETX i posebno PLR-ETX metrike pokazuju mnogo bolje rezultate po pitanju sveobuhvatnog E2E kašnjenja u analiziranom scenariju.

Imajući u vidu sve prethodne rezultate, jasno je da AODV protokol sa podrazumevanom *hop-count* metrikom nije dovoljno dobro rešenje za primenu u VANET mrežama jer pokazuje nestabilnost i po pitanju kašnjenja i po kriterijumu gubitka paketa. Simulacioni rezultati pokazali su da korišćenje metrika koje se zasnivaju na ETX metrici može značajno da unapredi mrežne performanse. Međutim, imajući u vidu povećani *overhead*, ETX metrika ne obezbeđuje dovoljno dobre rezultate kada je broj vozila veliki. Eliminacija računanja direktne verovatnoće uspešnog slanja LPP paketa u ETX metrici dovodi do značajnog smanjenja veličine ovih paketa, čime se povećava efikasnost protokola i unapređuju mrežne performanse. Dodatna poboljšanja dobijaju se uvođenjem faktora koji zavisi od nivoa snage signala na prijemu čime se postiže brža reakcija metrike na dinamičke uslove koji postoje u VANET mrežama. Dakle, može se zaključiti da korišćenje metrike koja se zasniva na nivou snage signala i koristi samo povratnu verovatnoću uspešnog prijema LPP paketa (PLR-ETX), daje najbolje performanse.

#### 4. Zaključak

U ovom radu predložene su tri nove metrike koje se baziraju na poznatoj ETX metrici: L-ETX, LR-ETX i PLR-ETX koje su osmišljene da poprave mrežne performanse u dinamičkim WANET mrežama. Metrike su upoređene korišćenjem NS-3.29 mrežnog simulatora. Imajući u vidu da trenutno izdanje NS-3 simulatora podržava samo *hop-count* metriku, izvršena je implementacija ETX metrike i predloženih metrika u okviru AODV protokola rutiranja. Važno je napomenuti da se sve ove metrike mogu implementirati i u bilo koji drugi protokol rutiranja za *ad hoc* mreže na sličan način.

Na osnovu osnovnih mrežnih indikatora pokazali smo da uvođenje novih metrika zasnovanih na ETX metrici u AODV protokol može značajno da poboljša performanse u VANET mreži u gradskom scenariju. Ovaj rezultat nije ograničen samo na VANET mreže i može biti iskorišćen i za druge WANET mreže. Sve predložene metrike smanjuju *overhead* u odnosu na ETX, ali osim toga značajno poboljšavaju i druge mrežne indikatore.

Protok i procenat izgubljenih paketa (PLR) su mnogo bolji nego kod ETX i *hop-count* metrika, posebno kada mreža ima veliki broj čvorova. Indikatori kašnjenja sa kraja na kraj takođe pokazuju poboljšanja, posebno kada se primenjuje PLR-ETX metrika. Osim modifikacije ETX metrike, moguća su i dodatna poboljšanja samog protokola rutiranja kako bi se smanjio *overhead*, što će biti predmet budućeg istraživanja.

## Zahvalnica

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata pod brojem 32025 i 36047.

## Literatura

- [1] S. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, R. Morris, "A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing," *Wireless Networks*, vol. 11, no. 4, pp. 419–434, July 2005.
- [2] NS-3. [Online]. Available: <http://www.nsnam.org/>
- [3] C Perkins, E Belding–Royer, S Das, "Ad Hoc On demand Distance Vector (AODV) routing," RFC 3561, IETF, October 2003.
- [4] N. Jevtić, M. Malnar, "Novel ETX-Based Metrics for Overhead Reduction in Dynamic Ad Hoc Networks," *IEEE Access*, vol. 7, 2019.
- [5] M. Malnar, N. Neskovic, A. Neskovic, "Novel power-based routing metrics for multi-channel multi-interface wireless mesh networks," *Wireless Networks*, vol. 20, no. 1, pp. 41–51, January 2014.
- [6] P. Bugarčić, N. Jevtić, M. Malnar, "An extension of NS-3 simulator to support efficient MANET performance analysis," in *Proc. of Intern. Conf. On Adv. Technologies Systems and Services in Telecomm.*, Niš, 2019, pp. 290-293.

**Abstract:** *In recent years number of mobile nodes in Wireless Ad hoc NETWORKS, is constantly increasing. Having in mind that the topology in these networks dynamically changes, the routing protocols initially proposed for static networks need to be improved. One way to ensure better network performance is to introduce routing metrics, such as the commonly used Expected Transmission Count (ETX) metric into routing protocols. However, the usage of ETX metrics increases routing overhead and this makes it unsuitable in networks with many mobile nodes. To address this problem, in this paper we have proposed three novel ETX-based metrics which reduce routing overhead, while improve other network performance. In order to test the impact of the proposed metrics on network performance, all three metrics were implemented in Network Simulator 3 (NS-3) within the Ad hoc On Distance Vector (AODV) routing protocol and their performance is compared.*

**Keywords:** *WANETs, mobile nodes, routing metrics, ETX, routing protocols*

## NEW ROUTING METRICS FOR OVERHEAD REDUCTION IN DYNAMIC AD HOC NETWORKS

Marija Malnar, Nenad Jevtić and Pavle Bugarčić