

PROGNOZIRANJE INTERNET SAOBRAĆAJA PRIMENOM HOLT-WINTERS METODE

Valentina Radojičić, Slobodan Mitrović
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet
valentin@sf.bg.ac.rs; s.mitrovic@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *U cilju pravovremenog planiranja i dimenzionisanja resursa mreže, permanentno merenje i prognoziranje Internet saobraćaja jedan je od prioriternih zadataka kojima mrežni operatori treba da se bave. Alati za kontrolu i otkrivanje zagušenja u mreži mogu se paralelno razvijati, što će dati odgovarajuće ekonomske efekte zbog efikasnijeg upravljanja resursima. U ovom radu, predložena je primena Holt-Winters metode kao veoma pogodna za prognoziranje Internet saobraćaja. S obzirom da je moguće varirati tri komponente (nivo, trend i sezonska komponenta), ova metoda poseduje izuzetnu fleksibilnost u prognoziranju veoma dinamičnog mrežnog saobraćaja. Izvedeno je nekoliko eksperimenata uzimajući u obzir realne podatke tipične za vremenske serije na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou.*

Ključne reči: *Holt-Winters, Internet, monitoring, prognoziranje, saobraćaj.*

1. Uvod

Modeliranje i analiza Internet saobraćaja igraju veoma važnu ulogu u određivanju performansi mreža, kako bi se sprovele efikasne analitičke studije i simulacije. Zauzvrat, dobija se bolje poznavanje dinamike mreže i neophodna pomoć za planiranje mreže i kontrolu gubitaka propusnog opsega. Modeliranje saobraćaja prvobitno je nastalo iz istraživanja telefonske mreže sa Poissonovom raspodelom procesa nailaska poziva. Međutim, razvojem savremenih tehnologija, mrežni saobraćaj je evoluirao postajući znatno složeniji sa tzv. *bursty* efektima. Da bi se pouzdano prognozirao saobraćaj, postoji potreba za modelima saobraćaja koji mogu obuhvatiti ovakve inherentne karakteristike Internet saobraćaja.

Pouzdana prognoza saobraćaja ili potrebne širine propusnog opsega veoma su važni elementi u mrežnom planiranju. Primenom pogodnih modela prognoziranja saobraćaja, saobraćajni inženjering može biti efikasniji kod dinamičke raspodele propusnog opsega i otkrivanja mrežnih anomalija (zagušenja, prekida saobraćaja i dr.). Na bazi dobijenih rezultata prognoziranja saobraćaja, mogu se primeniti alati saobraćajnog inženjeringa u cilju efikasnijeg prilagođavanja budućim saobraćajnim uslovima. Algoritam dugoročne prognoze definitivno može igrati veoma važnu ulogu u planiranju resursa mreže i rezervisanju propusnog opsega.

Modeliranje i prognoziranje saobraćaja takođe igra veoma važnu ulogu u postizanju optimalne raspodele resursa odgovarajućom dodelom propusnog opsega, uz odgovarajući stepen iskorišćenosti resursa mreže. Zbog toga je važno imati pouzdan model za prognoziranje obima saobraćaja odnosno planiranja kapaciteta resursa mreže. Dinamička priroda mrežnog saobraćaja utiče na potrebu za dinamičkom alokacijom propusnog opsega. Problem nastaje i ukoliko su planirani resursi potcenjeni, isto kao i ako su precenjeni. Ukoliko su planirani resursi ispod zahtevanog nivoa, to rezultira u ograničavanju propusnog opsega, a time i gubitku informacija, dok ukoliko su iznad zahtevanog nivoa dolazi do stvaranja neiskorišćenog propusnog opsega. U krajnjem ishodu, precizno modeliranje i prognoziranje saobraćaja je neophodno kako bi se postigao bolji kvalitet usluge (QoS), kao i za efikasniji saobraćajni inženjering. Proširenje mrežnih kapaciteta postalo je standardni deo strateških odluka mrežnih operatera, imajući u vidu stalni porast obima Internet saobraćaja prouzrokovanog brzim razvojem digitalnog tržišta. Internet saobraćaj, prouzrokovan nastajanjem složenih i brzih aplikacija kao što su: video na zahtev, HDTV (televizija visoke rezolucije), video u realnom vremenu, *online* igrice, deljenje datoteka i računarstva u oblaku, značajno će se povećati u obimu, ali će takođe rezultirati i velikim varijacijama intenziteta saobraćaja tokom vremena i pravca uspostavljanja veze [2].

Modeli vremenskih serija, linearni kao i ne-linearni, u velikoj meri su korišćeni za modeliranje mrežnog saobraćaja od strane mnogih istraživača [4]. Neki od popularnih modela vremenskih serija su: *AutoRegressive Moving Average* (ARMA), *AutoRegressive Integrated Moving Average* (ARIMA), *AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity* (ARCH), itd. Naravno, u literaturi se sreću i drugi alternativni modeli kao što su *fuzzy* logika, neuronske mreže i dr. Svaki od ovih modela ima svoje nedostatke, kao i prednosti u smislu tačnosti i složenosti.

Prognoze saobraćaja se koriste u raznim situacijama, kao što su: planiranje saobraćaja za različite vremenske domene, kontrola pristupa, alokacija dinamičnog opsega, rezervacija resursa, prognoza QoS parametara, kontrola zagušenja u širokopojasnim mrežama i slično. Kako bi pouzdano prognozirali buduću mesečnu tražnju za Internet saobraćajem, u ovom radu, predlaže se primena Holt-Winters modela kao veoma pogodnog za modeliranje izuzetno dinamičnih promena Internet saobraćaja. Eksperimentalna primena modela izvršena je u slučaju tri vremenske serije, dobijene snimanjem saobraćaja na izlaznom (WAN) portu optičkog sviča lokalne računarske mreže Saobraćajnog fakulteta.

2. Metode vremenskih serija

U osnovi, metode vremenskih serija podrazumevaju da će dalji razvoj posmatrane promenljive veličine slediti postojeći niz registrovanih statističkih podataka. Međusobna zavisnost opservacija se koristi kod analize vremenskih serija u cilju odabira odgovarajućeg modela. Modeli vremenskih serija se zasnivanju na specifičnim osobinama vremenskih serija, kao što su stacionarnost, autokorelisanost i beli šum. Te kvalifikacije serije govore o tome da li je vremenska serija stacionarna, kako izgleda njena autokorelaciona i autokovarijaciona funkcija, kao i koju raspodelu ima beli šum. Jedan od važnih modela je autoregresioni model pokretnih sredina, ARMA, koji je predodređen za primene kod nestacionarnih vremenskih serija koje postaju stacionarne nakon diferenciranja. Model koji je adekvatan da pokrije oba slučaja (stacionarne i nestacionarne

serije) jeste ARIMA model. Modeli vremenskih serija korišćeni su za modeliranje Internet saobraćaja u mnogim prethodnim radovima [5][6]. Njihova primena je jednostavna i fleksibilna, s obzirom da zahtevaju jedino statističke opservacije posmatrane veličine. Najčešće korišćeni linearni modeli vremenskih serija, za modeliranje i prognoziranje nestacionarnih vremenskih serija, su ARIMA modeli i posebni slučajevi opštih linearnih modela. Mnoge vremenske serije, uprkos prisustvu trenda, imaju i karakteristike sezonalnosti. Primena jednostavnog eksponencijalnog izgladivanja takvih serija moguća je za vrlo kratke periode. U ovom radu, biće predstavljena metoda prognoziranja saobraćaja koja izričito prepoznaje trend i sezonsku komponentu u vremenskoj seriji. Holt-Winters metoda je odabrana kao proširenje eksponencijalne metode izgladivanja koja uključuje nivo, trend i sezonska kolebanja.

2.1. ARIMA modeli

Autoregresioni modeli pokretnih proseka za integrisane vremenske serije se koriste u analizi vremenske serije kada je data serija nestacionarna. Da bi postigli stacionarnost potrebno je da diferenciramo vremensku seriju, čime se ARIMA svodi na ARMA model. ARIMA je Box-Jenkins-ova varijanta konvencionalnih auto-regresionih modela pokretnih sredina, ARMA modela. U slučaju sezonskih ARIMA modela, takođe se primenjuje sezonsko diferenciranje kako bi se eliminisala sezonska komponenta. Sezonski ARIMA modeli mogu se formirati sa jednim ili više perioda. Sezonski ARIMA modeli, kao i nesezonski, uzimaju u obzir međuzavisnost uzastopnih opservacija vremenske serije, npr. zavisnost opservacija za uzastopne mesece/kvartale unutar jedne godine. Međutim, za razliku od nesezonskih, istovremeno uzimaju u obzir i međuzavisnost između opservacija za iste mesece/kvartale u uzastopnim godinama. Tipično, realni tok Internet saobraćaja predstavlja nestacionarnu vremensku seriju gde obično postoji sezonska i/ili ciklična komponenta, kao i vremenski zavisni nivo i/ili varijansa.

Procesi auto-regresije, pokretnih sredina i njihove kombinacije odnose se na klasu linearnih modela, gde se svi odnosi između opservacija i slučajnih grešaka vremenske serije izražavaju pomoću linearnih matematičkih operacija.

2.2. Metoda eksponencijalnog izgladivanja

Metoda eksponencijalnog izgladivanja je generalizacija tehnike pokretnih sredina. Omogućava modeliranje procesa u kojem se poslednjim opservacijama daje najveća težina u poređenju sa ranijim opservacijama, a težine se eksponencijalno smanjuju tokom vremena. Ovaj model se može smatrati adekvatnim, kada parametri vremenske serije variraju oko srednje vrednosti tokom vremena, ali nemaju izražen trend ili sezonske varijacije. Postoje različite modifikacije eksponencijalnog izgladivanja koje su pogodne za modeliranje i prognoziranje vremenskih serija koje uključuju linearne/nelinearne trendove i/ili sezonske fluktuacije. Takvi modeli zasnivaju se na dekompoziciji vremenskih serija. Kao kod ARIMA modela, zadatak prognoziranja realnog mrežnog saobraćaja zahteva primenu sezonskih modifikacija eksponencijalnog izravnivanja.

Internet saobraćaj, izmeren tokom nekoliko godina, obično uključuje ne samo sezonska kolebanja i nivo, već i linearni trend. Tada je neophodno koristiti sezonske

modifikacije trendova eksponencijalnog izgladivanja. U tom smislu, u ovom radu predlaže se primena Holt-Winters modela.

2.3. Holt-Winters metod

Metod Holt-Winters razvijen je da prognozira trend vrednosti i sezonski uticaj iz eksponencijalno ponderisanih srednjih vrednosti. Pripada grupi *ad hoc* procedura [3]. Predstavlja preteču modernih strukturnih modela za koje je utvrđeno da se baziraju na statističkoj teoriji i mogu se smatrati posebnim slučajevima opšte klase modela strukturnih vremenskih serija, proširenjem eksponencijalne metode izgladivanja i ARIMA modela [8][9]. Smatra se da je Holt-Winters metoda kratkoročna metoda predviđanja [1][2]. U slučajevima kada postoji linearan trend a ne postoji nikakav sezonski obrazac primenjuje se Holtova eksponencijalna metoda izgladivanja sa korekcijom trenda. U slučaju kada postoji i trend i sezonska komponenta mogu se primeniti dve osnovne Holt-Winters metode: Aditivna Holt-Winters metoda i Multiplikativna Holt-Winters metoda.

Aditivna Holt-Winters metoda se koristi za vremenske serije sa konstantnim (aditivnim) sezonskim varijacijama i može se opisati pomoću sledećih formula [1]:

$$\text{Nivo: } L_t = \alpha(x_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1)$$

$$\text{Trend (Nagib): } b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2)$$

$$\text{Sezonski efekat: } S_t = \gamma(x_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (3)$$

$$\text{Jednačina prognoziranja: } F_{t+1} = L_t + b_t + S_{t+1-s} \text{ za } t = s + 1, s + 2, \dots \quad (4)$$

Gde su: x_t - opservacija u trenutku t , S_{t-s} - sezonska komponenta ocenjena za prethodni period, s - broj meseci ili kvartala, L_t - nivo serije u trenutku t , b_t - promena trenda u trenutku t , S_t - sezonska komponenta u trenutku t , F_{t+1} - prognoza za jedan period unapred, $\alpha, \beta, \gamma \in (0,1]$ parametri izgladavanja.

Kod aditivne metode, sezonska komponenta se izražava u apsolutnom iznosu u skali posmatrane serije, a u jednačini za nivo vremenska serija se podešava oduzimanjem sezonske komponente. Unutar svake godine, sezonska komponenta će iznositi približno nula.

Multiplikativna Holt-Winters metoda se koristi za vremenske serije sa rastućim (multiplikativnim) sezonskim varijacijama. Iz tog razloga, ova metoda je odabrana za primenu u ovom radu. Bazirana je na tri jednačine izgladivanja, prvom se izgladuje nivo pojave, drugom trend komponenta a trećom sezonska komponenta [1].

$$\text{Nivo: } L_t = \alpha \frac{x_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (5)$$

$$\text{Trend (Nagib): } b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (6)$$

$$\text{Sezonski efekat: } S_t = \gamma \frac{x_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (7)$$

$$\text{Jednačina prognoziranja: } F_{t+1} = (L_t + b_t)S_{t+1-s} \text{ za } t = s + 1, s + 2, \dots \quad (8)$$

gde su: x_t - opservacija u trenutku t , S_{t-s} - sezonska komponenta ocenjena za prethodni period, s - broj meseci ili kvartala, L_t - nivo serije u trenutku t , b_t - promena trenda u

trenutku t , S_t - sezonska komponenta u trenutku t , F_{t+1} - prognoza za jedan period unapred, $\alpha, \beta, \gamma \in (0,1]$ parametri izgladavanja.

Osnovna ideja ove metode je da se prognoza kreira kombinujući procenu nivoa vremenske serije L_t , sa procenom očekivanog povećanja ili smanjenja trend vrednosti b_t , a sve prilagođeno sezonskoj komponenti S_t . Pri tome se trend komponenta vremenske serije određuje pomoću izračunatog proseka poslednjih promena procenjenog nivoa i trenda. Sa s se označava učestalost sezonalnosti. Na primer, za tromesečne podatke $s=4$, a za mesečne podatke $s=12$. Izbor parametara izgladavanja (α, β, γ) u Holt-Winters modelu zahteva posebnu pažnju. Svaki od njih može uzeti vrednosti od 0 do 1, tako da je za iznalaženje optimalnih vrednosti neophodna primena računara. Moguće je i zadavanje veoma niskih početnih vrednosti za parametre izgladavanja (od 0,1 do 0,2). Prognostički sistem u tom slučaju reaguje sporo, ali stabilno na promene u komponentama. Parametrom α kontroliše se izravnavanje tokom vremena t , pri čemu izbor bliži 0 daje veći značaj prethodnim vrednostima vremenske serije, dok vrednost bliža 1 naglašava trenutne vrednosti a smanjuje važnost prethodnih. Parametar β prati sezonski uticaj, dok se parametrom γ kontroliše nivo oscilacija podataka.

Najčešće se kao statistički kriterijum za procenu parametara modela koristi srednja kvadratna greška procene. Za određivanje pouzdanosti prognoze, mogu se koristiti standardni testovi: srednja kvadratna greška reziduala (*Mean Square Error*, MSE), srednja apsolutna greška reziduala (*Mean Absolute Error*, MAE), kao i srednja apsolutna procentna greška (*Mean Absolute Percentage Error*, MAPE). Testovi MSE, MAE i MAPE predstavljeni su jednačinama (9) - (11), respektivno.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2 = \frac{\sum_{t=1}^N (F_t - x_t)^2}{N} \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |e_t| = \frac{\sum_{t=1}^N |F_t - x_t|}{N} \quad (10)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{e_t}{x_t} \right| \times 100 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{F_t - x_t}{x_t} \right| \times 100 \quad (11)$$

gde su: N – broj opservacija, x_t – opservacija vremenske serije u trenutku t i F_t – prognozirana vrednost u trenutku t , e_t – razlika ostvarene i prognozirane vrednosti u trenutku t . Navedeni testovi predstavljaju pogodne alate za određivanje pouzdanosti prognoze imajući u vidu karakteristiku bezdimenzionalnosti, odnosno mogućnost određivanja razlika između opserviranih i prognoziranih vrednosti bez uticaja merne jedinice u kojoj je izražena vremenska serija.

4. Eksperimentalni rezultati

Za potrebe prognoziranja saobraćajnih zahteva primenom Holt-Winters modela, upotrebljene su tri vremenske serije, dobijene snimanjem saobraćaja na izlaznom (WAN) portu optičkog sviča lokalne računarske mreže Saobraćajnog fakulteta. Snimanje saobraćaja izvršeno je primenom monitoring platforme *The Multi Router Traffic Grapher* (MRTG) [10], čiji je rad zasnovan na upotrebi *Simple Network Management Protocol*-a (SNMP) [11]. U slučaju standardne konfiguracije koja se primenjuje na mrežnim uređajima

(poput upravljivih svičeva, rutera ili *firewall-a*), MRTG *log* datoteke sadrže sledeće tipove podataka dobijenih snimanjem opsluženog saobraćaja na jednom mrežnom portu:

- vremenski žig (*timestamp*, odnosno broj proteklih sekundi od 1. januara 1970. godine u 00:00h),
- prosečnu vrednost odlaznog saobraćaja (*uplink - average*),
- prosečnu vrednost dolaznog saobraćaja (*downlink - average*),
- maksimalnu vrednost odlaznog saobraćaja (*uplink - max*),
- maksimalnu vrednost dolaznog saobraćaja (*downlink - max*),

gde svaka linija datoteke sadrži navedene podatke prikupljene u odgovarajućem vremenskom trenutku. Na taj način, može se smatrati da ta linija predstavlja jednu opservaciju saobraćaja opsluženog na posmatranom mrežnom portu. Imajući u vidu da MRTG monitoring platforma grafički prikazuje vrednosti saobraćaja na dnevnom, sedmičnom, mesečnom i godišnjem nivou, svaka MRTG *log* datoteka sadrži navedene tipove podataka za opservacije koje se vrše u sledećim tipičnim vremenskim intervalima:

- za dnevni nivo – 300 sec (5min),
- za sedmični nivo – 1800 sec (30min),
- za mesečni nivo – 7200 sec (2h),
- za godišnji nivo – 86400 sec (24h).

Takođe, svaka *log* datoteka sadrži minimalno dvostruki broj vremenskih opservacija u odnosu na korespondentni vremenski nivo, tj:

- 576 petominutnih opservacija (za poslednjih 48h u odnosu na poslednji trenutak snimanja saobraćaja),
- 672 tridesetominutne opservacije (za poslednjih 14 dana u odnosu na poslednji korespondentni uzorak saobraćaja),
- 732 dvočasovne opservacije (za poslednja 2 meseca u odnosu na poslednji korespondentni uzorak saobraćaja) i
- 730 dvadesetčetvoro časovnih - jednodnevnih opservacija (za poslednje 2 godine u odnosu na poslednji korespondentni uzorak saobraćaja).

Treba napomenuti da navedeni broj vremenskih opservacija *log* datoteka može biti i veći, kao i da taj broj može varirati u zavisnosti od kalendarskih faktora, kao i u zavisnosti od samog trenutka kada se *log* datoteka preuzima sa monitoring platforme.

Navedene karakteristike čine MRTG *log* datoteku pogodnim izvorom za dobijanje vremenskih serija, koje će nadalje biti upotrebljene za potrebe prognoziranja saobraćajnih zahteva primenom Holt-Winters modela. Za potrebe eksperimenta, čiji su rezultati prikazani u ovom radu, iz *log* datoteke iskorišćeni su podaci koji se odnose na maksimalne vrednosti dolaznog saobraćaja (*downlink - max*). Iz ovih podataka preuzete su tri vremenske serije:

- 1) za dnevni nivo – podaci dobijeni opservacijama u vremenskom opsegu 15.10.2019. (01:00) - 17.10.2019. (00:55),
- 2) za nedeljni nivo – podaci dobijeni opservacijama u vremenskom opsegu 03.10.2019. (15:30) - 17.10.2019. (15:00),
- 3) za mesečni nivo – podaci dobijeni opservacijama u vremenskom opsegu 16.08.2019. (00:00) - 15.10.2019. (22:00).

Pošto se sezona može opisati kao fiksni vremenski opseg u kome je sadržan zaokružen skup mrežnih aktivnosti za koji je karakteristično potpuno ponavljanje, učestalost sezonalnosti je definisana kao odnos ukupnog broja perioda (odnosno izvršenih

opservacija) u posmatranoj vremenskoj seriji i broja perioda (odnosno opservacija) koji su sadržani u okviru identifikovane sezone. Shodno navedenom, sezonalnost je u okviru posmatranih vremenskih serija definisana na način prikazan u tabeli 1:

Tabela 1. Karakteristike sezonalnosti u vremenskim serijama

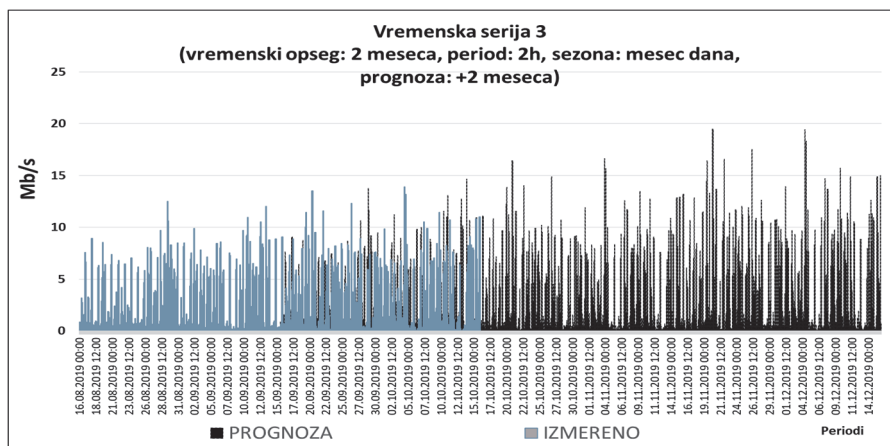
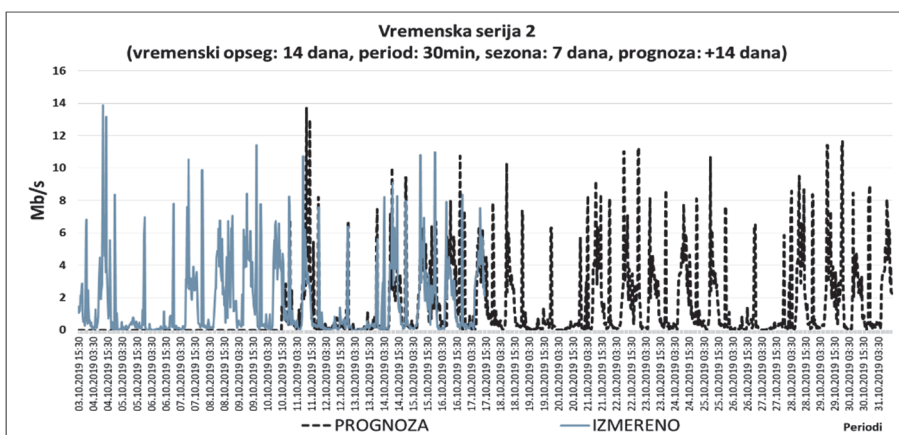
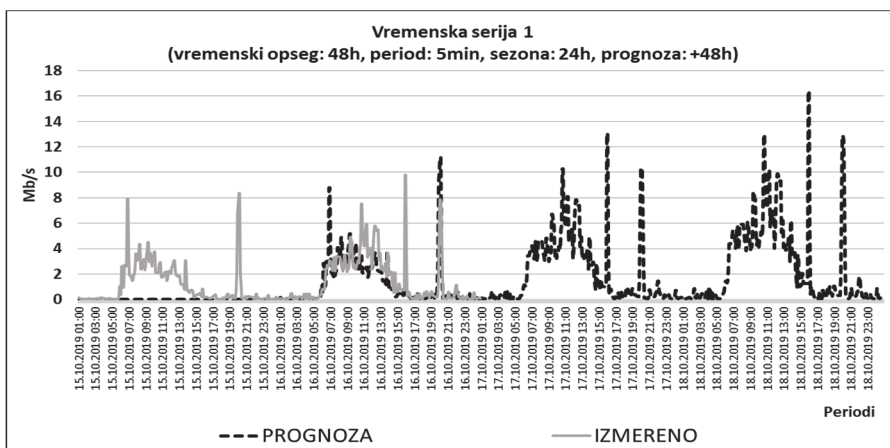
br. vrem. serije	osnovni period	opseg vremenske serije	br. perioda u vremenskoj seriji	identifikovana sezona	broj perioda u identifikovanoj sezoni	učestalost sezonalnosti (s)
1	300 sec (5min)	2 dana	576	1 dan	288	2
2	1800 sec (30min)	2 nedelje	672	1 nedelja	336	2
3	7200 sec (2h)	2 meseca	732	1 mesec	366	2

Imajući u vidu pretpostavku da u posmatranim vremenskim serijama sezonska varijacija raste sa porastom trenda, prognoziranje saobraćajnih zahteva realizovano je primenom multiplikativne Holt-Winters metode, pri čemu je usvojena početna vrednost 0,2 za sva tri parametra izgladivanja (α, β, γ). Pouzdanost prognoziranja je analizirana primenom tri standardna testa (MAE, MSE i MAPE). Pretraga vrednosti parametara izgladivanja sa kojima bi se za posmatrane vremenske serije dobili najbolji rezultati u primenjenim testovima, vršena je primenom alata *Solver*, koji predstavlja *add-in* dodatak u programskom paketu *MS Excel*. Pretraga je vršena u dva navrata: u prvom navratu funkcija cilja je bila - minimizacija vrednosti MSE, a u drugom - minimizacija vrednosti MAPE. Za oba slučaja su data ista ograničenja, odnosno $\alpha, \beta, \gamma \in (0,1]$. Pošto *Solver* u okviru mehanizma za definisanje ograničenja nema ugrađen uslovni operator „veće od...”, umesto uslova „ >0 ” usvojeno je ograničenje „ $\geq 2,2 \times 10^{-307}$ ”, gde navedeni broj po tehničkoj dokumentaciji ovog softverskog paketa predstavlja vrednost najbližu nuli. U oba slučaja minimizacije (MSE i MAPE), dobijeni su isti rezultati. Na ovaj način usvojene su vrednosti parametara izgladivanja koje su zajedno sa vrednostima testova prikazane u tabeli 2.

Tabela 2. Vrednosti parametara izgladivanja i rezultati testova pouzdanosti prognoziranja

Br. vrem. serije	α	β	γ	MSE	MAE	MAPE (%)
1	≈ 0	0,585	1	372477,5	$4,55 \times 10^{11}$	28,34
2	$7,630 \times 10^{-7}$	0,500	1	59822,5	$1,29 \times 10^{10}$	3,08
3	≈ 0	0,338	0,988	533649,1	$6,59 \times 10^{11}$	22,04

Na osnovu primene ovako definisanog eksperimentalnog postupka, dobijene su prognozirane vrednosti saobraćajnih zahteva za sve tri vremenske serije, prikazane na slici 1.



Slika 1. Prognozirane vrednosti saobraćajnih zahteva za vremenske serije 1, 2 i 3

Rezultati testova MAE i MSE su u direktnoj zavisnosti od razlike ostvarenih i prognoziranih vrednosti saobraćaja u trenutku t . Dok se rezultati MAPE testova tumače prema Lewis-ovoj skali [12] za procenu tačnosti prognoziranih vrednosti, gde se može zaključiti da je tačnost prognoze u slučaju vremenskih serija 1 i 3 ocenjena kao „razumna“, dok se ona u slučaju vremenske serije 2 smatra „visokom“.

5. Zaključak

Dinamička priroda mrežnih aktivnosti reflektuje se na karakteristike mrežnog (Internet) saobraćaja, koje mogu biti zabeležene kroz vrednosti zapisa dobijenih primenom tehnika monitoringa odgovarajućih mrežnih resursa. Platforme za monitoring mrežnih resursa, poput MRTG, skladište podatke o opsluženom saobraćaju u *log* datotekama u formi pogodnoj za izdvajanje grupa opservacija u jednu ili više vremenskih serija. Karakteristike vremenskih serija opsluženog Internet saobraćaja, poput nivoa, trenda i sezonalnosti pružaju mogućnost prognoziranja saobraćajnih zahteva primenom Holt-Winters modela, gde se u zavisnosti od načina ponašanja trenda i sezone varijacije može primeniti aditivna ili multiplikativna metoda prognoziranja.

U radu je prikazana eksperimentalna primena Holt-Winters modela, koja je izvršena u slučaju tri vremenske serije, dobijene snimanjem saobraćaja na izlaznom (WAN) portu optičkog sviča lokalne računarske mreže na Saobraćajnom fakultetu. U slučaju navedenih vremenskih serija, sezonska varijacija raste sa porastom trenda, zbog čega je prognoziranje zahteva za Internet saobraćajem realizovano primenom multiplikativne Holt-Winters metode. Analizom dobijenih rezultata ustanovljeno je da prognozirana vremenska serija odlično prati izuzetnu dinamiku ulaznih podataka, sezonalnost i trend, što je primenom standardnih testova (MAE, MSE i MAPE) i potvrđeno.

Imajući navedeno u vidu, može se zaključiti da je primena Holt-Winters modela izuzetno pogodna za prognoziranje saobraćajnih profila koji odgovaraju Internet saobraćaju. Pored toga, ističe se pogodnost i praktična primena MAPE testa, s obzirom da pruža jasniji prikaz preciznosti prognoziranja tj. daje rezultate prikazane u procentima, u poređenju sa MAE i MSE testovima.

Zahvalnica

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata pod brojem TR32025 i TR36012.

Literatura

- [1] E. Valakevicius, M. Brazenas, "Application of the Seasonal Holt-Winters Model to Study Exchange Rate Volatility", *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, Vol. 26, No 4, pp. 384–390, 2015.
- [2] S. Mitrović, V. Radojičić, M. Stojanović, G. Marković, The capacity expansion approach in optical transport networks with fixed and flexible grids, *Technological Forecasting and Social Change*, Elsevier, Vol. 127, pp. 310-316, Feb 2018.

- [3] Lepojević Vinko, Anđelković-pešić Marija, (2011): Forecasting electricity consumption by using Holt-Winters and seasonal regression models, *Facta Universitatis, Series: Economic and Organization*, Vol. 8, No 4, pp. 421-431.
- [4] D. Brockwell, *Introduction to Time Series and Forecasting*. Springer-Verlag, New York, 2002.
- [5] P. Cortez1, M. Rio, P. Sousa and M. Rocha, Forecasting Internet Traffic by Neural Networks Under Univariate and Multivariate Strategies, *Expert systems*, Vol. 29, No. 2, pp.143-155, 2012.
- [6] M. Zukerman, T. Neame, and R. Addie, Internet Traffic Modeling and Future Technology Implications, *IEEE INFOCOM 2003*, volume 1, pages 587– 596, 2003.
- [7] P. Cortez, M. Rio, M. Rocha, and P. Sousa, Internet Traffic Forecasting using Neural Networks, *IEEE IJCNN*, 2006, pp. 2635–2642, 2006.
- [8] M. Corradi, R. G. Garroppo, s. Giordano, and M. Pagano, Analysis of f-ARIMA processes in the modeling of broadband traffic, *ICC'01*, vol. 3, pp. 964–968, 2001.
- [9] Y. Shu, M. Yu, J. Liu, O. Yang, and H. Feng, Wireless Traffic Modeling and Prediction using Seasonal ARIMA models, *IEICE Transactions on Communications*, vol. E88-B, pp. 3992– 3999, 2005.
- [10] T. Oetiker, "MRTG-logfile - description of the mrtg-2 logfile format," 03 05 2017. [Online]. Available: <https://oss.oetiker.ch/mrtg/index.en.html>. [Pristupljeno 15 10 2019].
- [11] Internet Engineering Task Force (IETF), *Request for Comments 1157: A Simple Network Management Protocol (SNMP)*, Internet Engineering Task Force, 1990.
- [12] C. D. Lewis, *International and Business Forecasting Methods*, London: Butterworths, 1982.

Abstract: *Permanent measurement and Internet traffic forecast in order to achieve a proper network planning and dimensioning is one of the main tasks that network operators need to deal with. Traffic control and anomaly detection tools can be developed, leading to economic gains due to better resource management. In this paper, the Holt-Winters method is proposed as very suitable and reliable method for network traffic forecast. The Holt-Winters method is based on some underlying patterns such as a trend or a seasonal cycle, which are distinguished from random noise by averaging the historical values. Several experiments were held by considering real daily, weekly and monthly data.*

Keywords: *Holt-Winters, Internet, forecasting, monitoring, traffic.*

FORECASTING OF INTERNET TRAFFIC USING HOLT-WINTERS METHOD

Valentina Radojičić, Slobodan Mitrović