

Kontrola mrežnog saobraćaja primenom tehnika oblikovanja

VALENTINA DŽ. RADOJIČIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0001-9811-5663

GORAN Z. MARKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0003-1271-9277

SLOBODAN D. MITROVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0002-8571-0970

Pregledni rad

UDC: 004.724.4

DOI: 10.5937/tehnika2406719R

U savremenom multiservisnom okruženju, problem zadovoljenja saobraćajnih zahteva, iako poznat godinama unazad, prepoznaje se kao jedan od najznačajnijih izazova, bez obzira na konstantno povećanje kapaciteta mrežne infrastrukture. Jedan od najvažnijih uzroka ovog problema je bursty karakter mrežnog saobraćaja. Ovaj oblik saobraćaja može da umanjuje efikasnost rada mreže, jer može privremeno da zaguši mrežne resurse. Na taj način dovode se u pitanje operativne karakteristike određenih poslovnih sistema, odnosno kvalitet servisa internet/iptv provajdera u rezidencijalnom sektoru. Jedan od standardnih pristupa rešavanju navedenih problema jeste uvođenje koncepta upravljanja saobraćajem, koji se sastoji od primene 1) tehnika odgovarajućih saobraćajnih polisa (Traffic Policing), kao i tehnika za oblikovanje saobraćaja (Traffic Shaping). Iako imaju istu konceptualnu osnovu, ove tehnike imaju i značajne razlike, zbog kojih ostvaruju različite efekte na mrežni saobraćaj. Tehnike oblikovanja saobraćaja imaju veliki značaj zbog potencijala za nova rešenja, kao što su Internet of Things (IoT) senzorske mreže i dr. Ovaj rad objašnjava osnovni koncept oblikovanja saobraćaja, dostupne algoritme na kojima se zasnivaju tehnike za oblikovanje saobraćaja i daje poređenje u odnosu na tehnike saobraćajnih polisa.

Ključne reči: bursty saobraćaj, oblikovanje saobraćaja, saobraćajne polise, QoS

1. UVOD

U savremenim mrežnim okruženjima, potreba za efikasnom kontrolom paketskog saobraćaja je kritična, posebno sa sve većom tražnjom za aplikacijama koje intenzivno koriste propusni opseg, kao što su video strimovanje/VoD, prenos podataka i obrada podataka u oblaku, IoT mreže ili linearna IP Televizija (IPTV). Bez obzira da li je u pitanju poslovno ili personalno mrežno okruženje, aplikacije koje se koriste mogu se podeliti na grupe, u zavisnosti od toga kolika je važnost paketskog prenosa podataka u realnom vremenu. Ako mreža nije u stanju da primeni prioritete prenosa, u skladu sa vrstom podataka, različiti tokovi podataka će

se „nadmetati“ za mrežne resurse, što može dovesti do zagušenja i pogoršanja performansi servisa u zahtevanom vremenskom okviru [1].

Jedan od najvažnijih uzroka ovog problema je bursty karakter mrežnog saobraćaja koji dovodi do generisanja veoma velikog broja paketa u jedinici vremena. Bursty oblik saobraćaja najčešće umanjuje efikasnost rada mreže, jer može privremeno da zaguši mrežne resurse. Zbog toga može doći do visokog procenta izgubljenih podataka vezano za probleme balansiranja opterećenja. Ovakav oblik saobraćaja se često javlja zbog prirode određenih aplikacija ili uređaja koji neregularno generišu podatke, kao što su servisi za video-strimovanje, servisi za prenos datoteka ili IoT senzorske mreže koje prenose podatke na sporadičan način nakon detekcije određenih događaja. Na taj način se dovode u pitanje operativne karakteristike određenih poslovnih sistema, odnosno kvalitet servisa internet/iptv provajdera u rezidencijalnom sektoru. Kako bi se izbegla zagušenja mreže, garantovao

Adresa autora: Valentina Radojičić, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305

e-mail: v.radojicic@sf.bg.ac.rs

Rad primjen: 12.09.2024.

Rad prihvaćen: 04.12.2024.

kvalitet servisa i poboljšala ukupna efikasnost mrežnog prenosa, mrežni operatori primenjuju različite tehnike upravljanja saobraćajem. Ove tehnike uključuju: 1) tehnike saobraćajnih polisa (Traffic Policing) i 2) tehnike oblikovanja saobraćaja (Traffic Shaping). Obe tehnike imaju odgovarajuće prednosti i mane, ali njihova upotreba, zahvaljujući softverskom načinu kontrole mrežnih uređaja, ima potencijal da da odgovore i na nove izazove, kao što je masovna upotreba IoT mreža i dr. Imajući u vidu težnju da savremene i buduće tehnike upravljanja saobraćajem osiguraju maksimalnu efikasnost u kontroli mrežnih tokova uz minimisan gubitak paketskog saobraćaja, kao i minimalnu pojavu neželjenih efekata poput kašnjenja, ovaj rad pruža pregled adekvatnih tehnika oblikovanja mrežnog saobraćaja, daje prikaz konceptualnih razlika u odnosu na tehniku saobraćajnih polisa i analizira značaj njihove primene u savremenom okruženju.

Shodno navedenom, u drugom poglavlju dat je pregled literature, koja se odnosi na pristupe rešavanju problema oblikovanja saobraćaja, kao i uloge, koju ova tehnika ima SDN i TSN mrežama. Nadalje u trećem poglavlju pružen je osvrt na tehniku saobraćajnih polisa, sa prikazom osnovnih elemenata, koji se koriste i prilikom primene tehnike oblikovanja saobraćaja, koja je objašnjena u četvrtom poglavlju. Nakon toga, u petom poglavlju su prikazani najznačajniji algoritmi za oblikovanje saobraćaja, nakon čega sledi i zaključak rada.

2. PREGLED LITERATURE

Da bi se poboljšao kvalitet servisa i prilagodio složenijim mrežnim okruženjima, tehnike oblikovanja saobraćaja su u velikoj meri evoluirale, pri čemu su različite vrste Token bucket algoritama postale standardni deo mnogih komercijalnih mrežnih proizvoda i sistema. Među mnogim pristupima unapređenju ove vrste tehnika, nalazi se i onaj koji se zasniva na višeslojnom modelu saobraćaja za redistribuciju tokena o kome se govori u [2]. Za razliku od tradicionalnog rešenja sa jednim Token bucket (TB) nivoom koji upravlja saobraćajem samo za jedan nivo usluge, u ovom radu se predlaže upotreba hijerarhijskog sistema oblikovanja saobraćaja u obliku drveta za tri primarna nivoa usluga Diff-Serv mreža. Pored navedenog rešenja, u radu [3] predleže se rešenje sa adaptivnim sistemom za oblikovanje saobraćaja u slučaju zagušenja mreže nastalog usled neusklađenosti brzina između optičkih i bežičnih domena, kao i različitih klasifikacija usluga u bežično-optičkim širokopojasnim pristupnim mrežama (WOBAN). Ovaj adaptabilni sistem za oblikovanje saobraćaja koristi jedan TB posebno za svaku klasu servisa, dinamički prilagođavajući brzinu generisanja tokena, kao i broj samih tokena,

demonstrirajući na ovaj način poboljšanu efikasnost primene QoS kroz smanjenje opterećenja mrežnog uređaja. Imajući navedeno u vidu autori [4] takođe predlažu algoritam zasnovan na upotrebi više TB koji podržava višeredno oblikovanje saobraćaja u sistemima za komutaciju paketa velikih brzina. Pristup rešavanju problema oblikovanja saobraćaja zasnovan na dinamičkim konceptima prisutan je i u [5], gde je predložen dinamički multi-servisni algoritam za oblikovanje saobraćaja (takođe sa upotrebom višestrukog TB), koji efikasno rešava gubitak i zagušenje paketa u složenim mrežnim okruženjima sa različitim nivoima usluge. Da bi se ublažili problemi uskih grla na *edge gateway* tačkama komunikacije, koji su uzrokovani razlikama u propusnosti između korporativnog intraneta i WAN zone, u [6] predlaže se mehanizam tzv. pametnog filtera token bucket-a (Smart Token Bucket Filter - STBF) koji se bavi pojavom tzv. nepravednog (unfair) saobraćaja, koji se pojavljuje upravo zbog ograničenja u raspoloživom propusnom opsegu.

Većina navedenih predloga za unapređenje tehnika oblikovanja saobraćaja, razmatrana je kroz različite aspekte primene u delovima softverski definisanih mrežnih (Software-Defined Networking - SDN) rešenja, kao i delovima nekih rešenja koja se koriste u vremenski osetljivim mrežama (Time Sensitive Networks - TSN).

U softverski definisanim mrežnim (SDN) okruženjima, rešavanje problema pravičnosti (fairness) je ključno, posebno u kontrolnim kanalima. U tu svrhu, predložena je šema poznata kao Sincon - adaptivno rešenje za oblikovanje saobraćaja koje se realizuje u okviru cloud data centara, gde se primenjuje tzv. mrežna virtualizacija (Network Virtualization – NV) [7]. U okviru navedenih sistema, Sincon oblikuje saobraćaj kontrolnog kanala ograničavanjem maksimalne propusnosti i korišćenjem bafera za sprečavanje gubitka podataka. Takođe, Sincon uključuje funkciju automatskog prilagođavanja, tako što vrši adaptaciju granice protoka po potrebi kada se upotreba približi granici. U drugom istraživanju [8], koje se bavi prenosom video signala među mobilnim uređajima, predlaže se rešenje za probleme kao što su nestabilnost veze i neefikasnost propusnog opsega u HTTP adaptivnom strimingu. Ovo rešenje primenjuje dinamičku tehniku oblikovanja saobraćaja zasnovanu na SDN-u (DASH-SDN), čime se optimizuje praćenje mreže upravljanjem periodima prenosa kroz upotrebu tzv. ON/OFF obrazaca prenosa.

Značaj TSN mreža posebno se uvećao sa pojavom 5G i 6G mreža, autonomnih vozila i pametnih fabrika, WiFi-6 i od nedavno WiFi-7 tehnologija prenosa podataka [9], rezultirajući pojavom problema da neke forme tradicionalnih mreža ispune postavljene zahteve za visokim performansama, koje uključuju nizak nivo

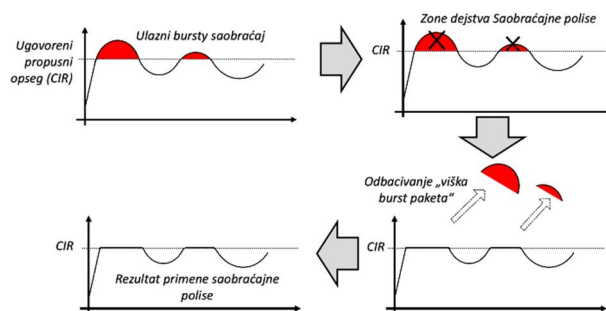
kašnjenja, kao i visoku pouzdanost rada savremenih aplikacija [10], [11]. Postoje naponi da se navedeni problemi reše u aktivnostima IEEE TSN Task grupe, uvođenjem skupa standarda koji osiguravaju tzv. Deterministički Ethernet [12]. Oblikovanje saobraćaja u TSN-u igra ključnu ulogu, koristeći tehnike kao što su Credit-Based Shaper (CBS) [13], Time Awareness Shaper (TAS) [14], Cyclic Queuing Forwarding (CQF) i Frame Preemption [14], i to na sledeći način: CBS daje prioritet kritičnim podacima i koristi tzv. kreditne vrednosti (credit values) za upravljanje saobraćajem nižeg prioriteta. TAS dodeljuje vremenske okvire za vremenski osetljive tokove, sprečavajući smetnje i obezbeđujući blagovremeni prenos. CQF obezbeđuje sinhronizovani prenos okvira u jednom ciklusu za eliminisanje gubitka paketa i održavanje niskog nivoa kašnjenja. Frame Preemption dodatno smanjuje vreme čekanja za podatke visokog prioriteta, tako što prekida tokove nižeg prioriteta kada je to potrebno, iako to ponekad može povećati nestabilnost saobraćaja nižeg prioriteta.

Iskustva u radu sa TSN mrežama potvrđuju važnost primene tehnika oblikovanja saobraćaja, pogotovo u slučajevima, kao što su industrijske mreže, gde se na taj način osiguravaju tokovi podataka u realnom vremenu, ali u najvećem broju slučajeva i tokovi podataka koji nisu kritični za prenos u realnom vremenu. Treba napomenuti da su za određene vrste mreža, poput velikih determinističkih mreža (Large-scale Deterministic Networks - LDN) razvijena naprednija rešenja poput large-scale deterministic network flow shaping (LFS) mehanizma [15], koja poboljšavaju korišćenje resursa i garantuju nulti gubitak paketa. Takođe, mehanizmi oblikovanja saobraćaja u TSN mrežama nastavljaju da se razvijaju i primenom drugih tehnologija kao što je asinhrono oblikovanje saobraćaja (Asynchronous Traffic Shaping - ATS) [11], ali i sa nekim novim rešenjima, poput [16], koja su izvan tematike ovog rada.

3. TEHNIKA SAOBRAĆAJNIH POLISA

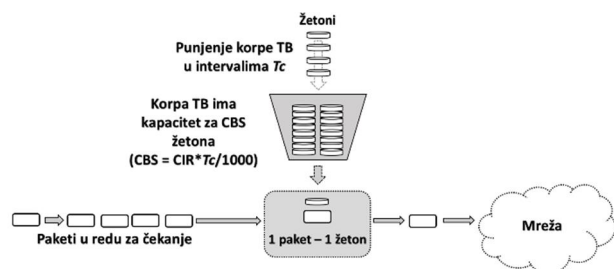
Kao što je već navedeno, tehnika saobraćajnih polisa je jedna od više tehnika upravljanja mrežnim saobraćajem koje koriste mrežni provajderi, kako bi osigurali da se pretplatnicima učini dostupnim onaj propusni opseg koji je predviđen definisanim ugovornim odnosom tj. SLA (Service Level Agreement). Ovaj propusni opseg je definisan terminom Committed Information Rate (CIR) [17] i on predstavlja obim podataka koji se može preneti u jedinici vremena bez bilo kakvog gubitka ili kašnjenja. Ovo je standardan slučaj u savremenoj praksi, gde pretplatnici po pravilu rentiraju od internet provajdera mrežnu pristupnu opremu koja tehnički može da obezbedi i mnogo veće propusne opsege (brzine) pristupnog linka u odnosu na

opseg koji je definisan posmatranim SLA. Pored navedenog scenarija, ova tehnika se primenjuje i u drugim slučajevima, poput onog u kome treba obezbediti mrežni saobraćaj sa zahtevanim kvalitetom u slučaju uređaja koji u posmatranom smeru povezuje link većeg kapaciteta (na ulaznoj strani) sa linkom manjeg kapaciteta (na izlaznoj strani) i dr. Treba napomenuti da CIR nikada ne može biti veći od tehničkog (tj. realnog) propusnog opsega linka (Access Information Rate - AIR). Proces primene saobraćajne polise započinje definisanjem obrasca saobraćaja za posmatranog pretplatnika (npr. CIR pristupnog linka), u skladu sa ugovorenim SLA. Paketski filteri procesom klasifikacije saobraćaja koriste definisani obrazac kao pravilo polise radi provere da li trenutni *burst* saobraćaj (koji se veže za datog pretplatnika) premašuje ugovoreni propusni opseg (CIR). Ako je tako, paketski filter sprovodi meru ograničenja intenziteta *bursty* saobraćaja, tako što odbacuje „višak *bursty* paketa“ sve dok intenzitet trenutnog saobraćaja ne padne ispod definisane granice SLA (slika 1).



Slika 1 - Primena tehnike saobraćajnih polisa

Tehnika saobraćajne polise se realizuje kroz upotrebu koncepta TB, koji funkcioniše na sledeći način. Posmatrana TB (u ovom poglavlju – korpa žetona) puni se žetonima u jednakim vremenskim intervalima T_c . Broj intervala po sekundi (odnosno $T_c/1000$), pomnožen sa CIR daje maksimalnu veličinu burst-a (CBS), koja može biti preneti u po jednom intervalu T_c (tj. $CBS = CIR \cdot T_c / 1000$) i to je istovremeno i kapacitet korpe žetona. Imajući navedeno u vidu, filtracija paketa funkcioniše po sledećem uslovu: ukoliko u korpi za pristigli paket ima odgovarajući broj žetona P_s ($P_s \leq CBS$), onda se tom paketu iz korpe dodeljuje P_s tokena i on prolazi kroz filter, dok u suprotnom biva odbačen i žetoni ostaju u korpi (slika 2). Scenario u kome se isključivo primenjuje tehnika saobraćajnih polisa ima nedostatak koji se ogleda u gubitku paketa. Navedeni gubitak u slučaju TCP protokola (koji su konekciono orjentisani), rezultira retransmisijom prethodno odbačenih paketa što dodatno opterećuje posmatrani sistem. U slučaju UDP protokola (koji nisu konekciono orjentisani), gubitak paketa je trajan, što dovodi do oštećenja informacije na prijemnoj strani linka.

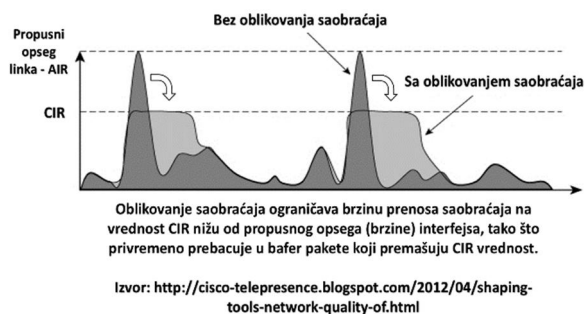


Slika 2 - Primer TB u slučaju primene tehnike saobraćajnih polisa

Shodno navedenom, u realnim slučajevima primenjuje se tehnika oblikovanja saobraćaja.

4. TEHNIKA OBLIKOVANJA SAOBRAĆAJA

Tehnika oblikovanja saobraćaja (Traffic Shaping) predstavlja set unapređenih procedura za upravljanje mrežnim saobraćajem, koje sistemu daju sposobnost da posmatrani saobraćajni tok „prilagodi“, odnosno „uobliči“ prema zahtevanom saobraćajnom obrascu bez paketskih gubitaka, ukoliko to omogućavaju definisana pravila. Ako u posmatranom sistemu nadolazeći saobraćaj svojim intenzitetom prelazi CIR vrednost (tj. okarakterise se kao bursty saobraćaj), tada se oblikovanje saobraćaja realizuje tako što se nailazeći burst paketi (koji bi se odbacili u slučaju primene tehnike saobraćajnih polisa) zadržavaju u baferu i odlaze za slanje sve dok se ne steknu uslovi da budu isporučeni dalje bez prekoračenja konfigurisanog CIR. U slučaju da posmatrani saobraćaj ne bude okarakterisan kao bursty, biće propušten bez zadržavanja u baferu (slika 3).



Slika 3 - Primena tehnike oblikovanja saobraćaja

Kao i u slučaju tehnike saobraćajnih polisa, opis rada se vrši različito kroz primenu koncepta već spomenute korpe. U slučaju tehnike za oblikovanje saobraćaja, koncept rada korpe je zasnovan na formiranju paketskog reda za čekanje (queue), kao jednog od osnovnih mehanizama za kontrolu saobraćaja kada višestruki tokovi saobraćaja dele isti mrežni resurs. Imajući navedeno u vidu, u slučaju ove tehnike postoje dve vrste algoritama za kontrolu paketa: 1) Leaky Bucket algoritam, čija se korpa (za razliku od drugih slučajeva) puni ili redom paketa ili žetona (Leaky Token Bucket [18]), i 2) Token Bucket

algoritmi, gde se prilikom punjenja korpe koriste žetoni, kao i u nekim prethodno navedenim slučajevima.

Tradicionalni algoritmi opsluživanja paketa u redovima za čekanje su [19]: 1) FIFO algoritam (Prvi uđe, prvi izađe), u kome se pristigli paketi ubacuju u red čekanja u skladu sa trenutkom pristizanja, a zatim se posmatrani paketi tim redosledom i opslužuju; 2) PQ algoritam (Prioritetni algoritam čekanja - PQ), gde se pristigli paketi dodeljuju različitim redovima prema utvrđenim pravilima prioriteta (pri čemu svaki red ima drugačiji prioritet), a zatim se opslužuju striktno poštujući prioritet; 3) FQ algoritam (Fer Algoritam opsluživanja), koji pristupa svim redovima i opslužuje prvi paket u redu, osiguravajući da svaki tok opsluge pravično deli resurse. 4) WFQ algoritam (Ponderisani algoritam fer opsluživanja), gde se svakom redu dodeljuje ponderisana težinska vrednost prema različitim prioritetima, a tu težinsku vrednost određuje propusni opseg izlaznog porta koji zauzima tok servisa. 5) QBB algoritam (Algoritam čekanja na bazi klase), gde se redovi formiraju na bazi klase servisa, pri čemu se sama klasifikacija može bazirati na upotrebi različitih parametara.

5. ALGORITMI OBLIKOVANJA SAOBRAĆAJA

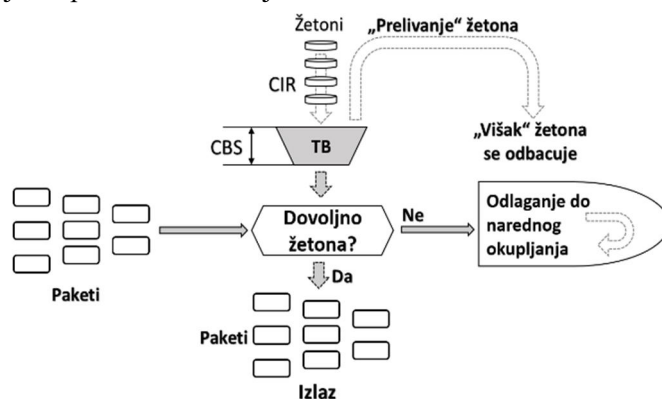
5.1. Leaky Bucket algoritam

Leaky bucket algoritam [20] upravlja bursty tokovima podataka regulisanjem paketskog reda kojim upravlja kontroler korpe. Zadatak ovog kontrolera je da formira izlazni tok podataka sa fiksnom brzinom saobraćaja bez obzira na uslove u dolaznom toku. Ovaj algoritam funkcioniše tako što se paketi stavljaju u red čekanja i upućuju na obradu u korpi, gde se brzina nailaska paketa poredi sa izlaznom brzinom korpe da bi se utvrdio korak prosleđivanja paketa. Ako je stopa nailaska paketa niža od stope izlaza, korpa dobija tzv. neispravan status. Ukoliko brzina nailaska paketa premašuje izlaznu brzinu (odnosno, ukoliko se pojavi bursty saobraćaj), proverava se kapacitet korpe, pri čemu se mogu doneti dve vrste odluka: ako je kapacitet korpe prekoračen, tada se višak paketa odbacuje, u suprotnom nema odbacivanja, tj. paketi ispod izlazne brzine se odmah prosleđuju. Leaky algoritam obezbeđuje nesmetan prenos bursty saobraćaja i ograničava izlaznu brzinu, sprečavajući da brzina paketa premaši kapacitet mreže. Iako oblikovanje saobraćaja ima za cilj da ujednači izlaz i izbegne zagušenje, slučajevi u kojim nivo nailaska paketa dostiže vršni nivo, i dalje mogu dovesti do zagušenja mreže i pojave neusaglašenih tokova saobraćaja [21]. Da bi se ovo rešilo, u [22] je predložena primena odgovarajućih proračuna za modifikaciju rada korpe sa ciljem poboljšanja performansi u datim situacijama.

5.2. Token Bucket algoritam

Token bucket (TB) algoritam se široko koristi za oblikovanje saobraćaja i ograničavanje brzine bursty saobraćaja [23]. Koristeći upravo koncept korpe žetona (TB), ovaj algoritam može efikasno adaptirati rad nailazećem bursty saobraćaju. Važno je napomenuti da se princip rada bazira na dodeli žetona paketima pristiglim u korpu. Karakteristika ovog algoritma je fiksni kapacitet korpe, koja se puni žetonima čije se

generisanje odvija konstantnim intenzitetom. Istim intenzitetom se odvija i pražnjenje korpe (slika 4). Proces akumulacije žetona je upravo moguć zahvaljujući navedenoj osobini i dešava se u svakom periodu kada se korpa nalazi u neaktivnom stanju. Ukoliko se, usled nedostatka ulaznog saobraćaja, neaktivnost korpe nastavi i nakon popunjavanja kapaciteta korpe, algoritam će u tom slučaju izvršiti „prelivanje“ i diskreditaciju viška generisanih žetona.



Slika 4 - Token Bucket Algoritam

Sa druge strane, izlazni saobraćaj se može realizovati samo u slučaju kada ima dovoljno žetona u korpi, u suprotnom se zaustavlja i odlaže do narednog nakupljanja. Na ovaj način, saobraćaj se može prenositi konstantnom brzinom.

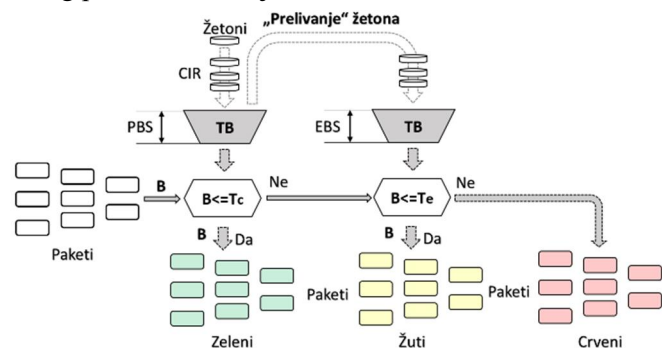
5.3. Dualni Token Bucket algoritmi

„Prelivanje“ žetona može se rešiti uvođenjem još jedne korpe, kapaciteta Excess Burst Size (EBS). U tom slučaju, može se uvesti još jedan nivo kontrole tokova, u skladu sa dve vrste algoritma: 1) Algoritam Markera u tri boje sa jednom brzinom (SR-TCM) i 2) Algoritam markera u tri boje sa dvostrukom brzinom (DR-TCM), gde se izlazni paketi označavaju (markiraju) crvenom, žutom i zelenom bojom [23], čime se vrši klasifikacija u tri kategorije: usklađivanje, prekoračenje ili kršenje definisanog profila saobraćaja.

SR-TCM algoritam (slika 5) funkcioniše uzimajući u obzir vrednosti tri parametra: CIR, CBS i EBS, pri čemu je $EBS > CBS$. Žetoni vrše popunjavanje brzinom CIR, prvo se dodaju tokeni u korpu C, a nakon što se ona popuni, žetoni se nadalje dodaju u korpu E. Kada su obe korpe pune, novogenerisani tokeni počinju da se odbacuju.

U ovom algoritmu, paketi su označeni bojom preko markera. Kada je broj paketa B manji od broja tokena T_c , paketi se markiraju zelenom bojom; kada je $T_e > B > T_c$, paketi se markiraju žutom bojom; kada je $B > T_e$, paketi se markiraju crvenom bojom.

Paketima je nakon markiranja dozvoljeno da napuste filter, a odbacivanje se vrši prema crvenom, žutom i zelenom nivou kada dođe do zagušenja u mreži.



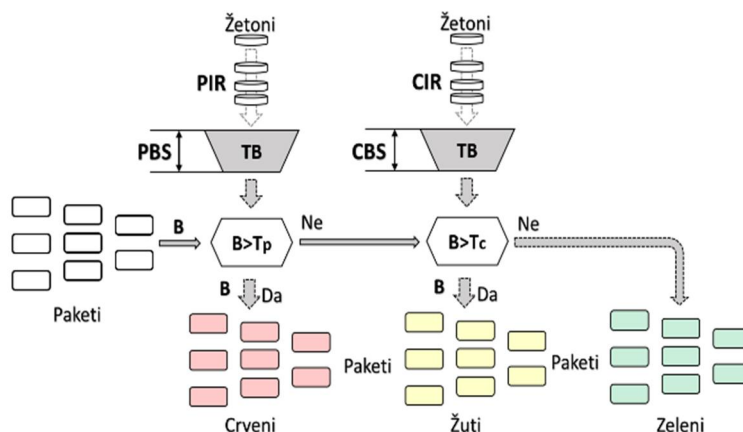
Slika 5 - SR-TCM algoritam [21]

Osnovni koncept navedenih pravila, na sličan način važi i za DR-TCM algoritam (slika 6). Međutim, u ovom slučaju mogu se uočiti razlike, koje su vezane

za brzine popunjavanja korpi žetonima. U ovom slučaju, popunjavanje prve korpe vrši brzinom *Peak Information Rate* (PIR). Ova brzina je uvedena da bi

mrežni operatori mogli da kompenzuju potencijalne gubitke imajući u vidu da je CIR vezan za srednju vrednost propusnog opsega. Smatra se da nadolazeći paketi koji prelaze vrednost CIR, ali su ispod vrednosti PIR, premašuju ugovor SLA, ali ga ne krše. Sa druge strane, nadolazeći paketi koji prelaze PIR sigurno prevazilaze SLA vrednosti. Na taj način, stvara se

osnova za sledeći set pravila u ovom algoritmu: proces dopune tokena je drugačiji nego što smo ranije videli; obe korpe se pune po dolasku paketa koji treba da se proverí. Međutim, CBS korpa se puni direktno i ne mora da se oslanja na preliivanje iz PIR korpe. To znači da PBS korpa ne mora da se oslanja na period niske ili nikakve aktivnosti da bi dobila više tokena.



Slika 6 - DR-TCM algoritam [21]

Takođe, svi žetoni koji se preliju iz bilo koje korpe se odbacuju. Korpe se pune na osnovu vremena dolaska paketa i odgovarajućih vrednosti PIR i CIR. Rezultat je da PIR korpa uvek ima više tokena za upotrebu nego CIR korpa. Shodno navedenom, set pravila u ovom algoritmu može se definisati na sledeći način: Ako je broj paketa $B \leq T_c$ paketi se markiraju zelenom bojom. Žetoni se uklanjaju iz CIR korpe na osnovu broja paketa iz CIR, a isti broj žetona se istovremeno uklanja i iz PIR korpe. Ako je $B \leq T_p$, paketi se markiraju žutom bojom. Vrší se uklanjanje B žetona iz PBS korpe. Ako paket ne odgovara niti prelazi, paketi se markiraju crvenom bojom. Žetoni se ne uklanjanju ni iz jedne korpe.

6. ZAKLJUČAK

Kako bi se osiguralo da mrežna infrastruktura može da upravlja predviđenim opterećenjem saobraćaja, neophodno je identifikovati sva uska grla kao i probleme sa degradacijom performansi mreže. Da bi se optimizovali mrežni resursi kako bi se ispunili zahtevi korisnika i ugovori o nivou servisa (SLA), provajderi servisa i administratori moraju da koriste tehnike oblikovanje saobraćaja.

U ovom radu razmatrane su različite tehnike i perspektive razvoja algoritama oblikovanja saobraćaja. Najviše pažnje posvećeno je prednostima primene algoritama oblikovanja saobraćaja. Pokazuje se da u cilju postizanja maksimalne efikasnosti, algoritmi oblikovanja saobraćaja moraju uzeti u obzir kako vremensku seriju ulaznog saobraćaja tako i prognozirane vrednosti saobraćaja. Da bi se obezbedili QoS

parametri koji su potrebni u određenom slučaju, različiti modeli za prognoziranje bi trebalo da se koriste za primenu oblikovanja saobraćaja zasnovanog na predviđanju [24].

Da bi se poboljšala alokacija resursa internet servisa, efikasno oblikovanje saobraćaja i balansiranje opterećenja su osnovni koncepti, tako što će osigurati da se resursi koriste efikasno, smanjujući rizik od zagušenja ili prekida saobraćaja i poboljšavajući ukupne performanse mreže. Modeliranje saobraćaja podrazumeva procenu obrazaca saobraćaja i ponašanja korisnika da bi se predvidela korisnička tražnja. Ovo podrazumeva korišćenje statističkih i analitičkih alata za modeliranje obrazaca saobraćaja i ponašanja korisnika (broj ljudi koji pristupa sistemu, vrsta i obim prenetih podataka i učestalost zahteva), kao i njihove interakcije sa infrastrukturom. Ovo je posebno značajno gde se resursi dele između više korisnika a tražnja često varira.

U praktičnim aplikacijama, jedan algoritam nije dovoljan za rešavanje složenih scenarija, te se bira kombinacija više algoritama kako bi se bolje prilagodili kompleksnim situacijama i poboljšale performanse prenosa u realnom vremenu. Izbor odgovarajućeg algoritma za oblikovanje saobraćaja treba da zavisi od specifičnih uslova mrežnog okruženja i karakteristika saobraćaja.

7. ZAHVALNICA

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] M. Ammar, G. Russello, B. Crispo, Internet of Things: A survey on the security of IoT frameworks, *Journal of Information Security and Applications*, t. 38, p. 8–27, February 2018.
- [2] X. Li, *Research based on multilayer token re-allocation traffic shaping*, Changsha, 2010.
- [3] R. Wang, W. Chi, H. Zhang, Adaptive traffic shaping policy based on token bucket algorithm of wireless-optical broadband access network, *Journal of Electronics & Information Technology*, t. 39, p. 1401–1408, 2017.
- [4] N. I. U. Miao, L. Jiang, Research and design based on multi-token bucket traffic shaping algorithm, *Microelectronics & Computer*, t. 28, p. 110–113, 2011.
- [5] X. Zhang, P. Li, Q. Wang, C. Li, *A multi-service Token Bucket Algorithm for MAC QoS system in HFC access network*, t. 26, p. 213–217, July 2008.
- [6] Q. Li, A mechanism of traffic shaping and bandwidth guarantee at edge gateways, *Microprocessors*, t. 33, pp. 23–29, 2012.
- [7] Y. Yoo, G. Yang, M. Kang, C. Yoo, *Adaptive Control Channel Traffic Shaping for Virtualized SDN in Clouds*, t. 10, p. 22–24, October 2020.
- [8] I. Ben Mustafa/T. Nadeem, *Dynamic traffic shaping technique for HTTP adaptive video streaming using software defined networks*, p. 178–180, June 2015.
- [9] T. Adame, M. Carrascosa-Zamacois / B. Bellalta, Time-Sensitive Networking in IEEE 802.11be: On the Way to Low-Latency WiFi 7, *Sensors*, t. 21, p. 4954, July 2021.
- [10] Z. Cao, Q. Liu, D. Liu, B. Yan, *Survey of time-sensitive networking*, *Application Research of Computers*, t. 38, pp. 647–655, 2021.
- [11] A. Nasrallah, A. S. Thyagaturu, Z. Alharbi, C. Wang, X. Shao, M. Reisslein, H. ElBakoury, Ultra-Low Latency (ULL) Networks: The IEEE TSN and IETF DetNet Standards and Related 5G ULL Research, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, t. 21, p. 88–145, 2019.
- [12] Time-Sensitive Networking (TSN) Task Group, [Na mreži]. Available: <https://1.ieee802.org/tsn/>. [Poslednji pristup 17 06 2024].
- [13] E. Mohammadpour, E. Stai, M. Mohiuddin, J.-Y. Le Boudec, Latency and Backlog Bounds in Time-Sensitive Networking with Credit Based Shapers and Asynchronous Traffic Shaping, u 2018 30th *International Teletraffic Congress (ITC 30)*, 2018.
- [14] L. Zhang, P. Wang, Survey of traffic shaping and scheduling in time-sensitive network, *Microelectronics & Computer*, t. 39, p. 46–53, 2022.
- [15] G. Peng, S. Wang, Y. Huang, R. Huo, T. Huang, Y. Liu, *Traffic Shaping at the Edge: Enabling Bounded Latency for Large-scale Deterministic Networks*, p. 1–6, June 2021.
- [16] Y. Guo, Y. Wang, F. Khan, A. Al-Atawi, A. Abdulwahid, Y. Lee / B. Marapelli, *Traffic Shaping in IoT Networks using GNN and MAB with SDN Orchestration*, June 2023.
- [17] D. Medhi, K. Ramasamy, *Traffic Conditioning*, p. 626–644, 2018.
- [18] N. Đerić, A. Varasteh, A. Van Bemten, C. Mas-Machuca, W. Kellerer, Towards understanding the performance of traffic policing in programmable hardware switches, u 2021 *IEEE 7th international Conference on Network Softwarization (NetSoft)*, 2021.
- [19] Y. Liu, *Research and implement of network traffic shaping based on leakbucket method and token bucket algorithm*, Changchun, 2008.
- [20] W. M. Zuberek, D. Strzeciwiłk, Modeling Traffic Shaping and Traffic Policing in Packet-Switched Networks, *Journal of Computer Sciences and Applications*, t. 6, p. 75–81, 2018.
- [21] H. Fu, M. Sun, B. He, J. Li, X. Zhu, A survey of traffic shaping technology in internet of things, *IEEE Access*, t. 11, p. 3794–3809, 2022.
- [22] S. Lekcharoen, *Performance and evaluation of adaptive backoff schemes in traffic shaping over high speed network*, p. 241–245, October 2007.
- [23] X.-l. Li / Y.-c. Guo, Comparison between token bucket algorithms in QoS technology, *ZTE Commun*, t. 13, p. 56–60, 2007.
- [24] A. V. Omelchenko, E. A. Rozdymakha and O. V. Fedorov, *Network Traffic Shaping Based on Prediction of Polynomial Trend Self-similar Time Series*, 2015.

SUMMARY

NETWORK TRAFFIC CONTROL USING TRAFFIC SHAPING TECHNIQUES

Although known for years, the problem of meeting network traffic demand in multiservice environment is still recognized as one of the most significant challenges, regardless of the constant increase in network infrastructure capacity. One of the most important causes of this problem is the bursty nature of network traffic that could reflect on the network efficiency reduction due to temporal congestion of network resources. In this way, the operational characteristics of certain business systems as well as the quality of residential internet/iptv services could be compromised. One of the standard approaches to solving such a kind of problems is related to the concept of traffic management that includes 1) Traffic Policing techniques, as well as 2) Traffic Shaping techniques. Although these techniques share the same conceptual basis, these techniques also have significant differences, due to which they achieve different effects on network traffic. The importance of Traffic Shaping techniques arise with their potential to manage the traffic quality in modern network forms, such as Internet of Things (IoT) sensor networks. This paper explains the basic concept of traffic shaping, available algorithms on which traffic shaping techniques are based and provides a comparison with Traffic Policing techniques.

Key Words: *Bursty traffic, Traffic Shaping, Traffic Policing, QoS*