

ZAVOD ZA ELEKTRONIKU, MIKROELEKTRONIKU, RAČUNALNE I INTELIGENTNE SUSTAVE
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

HS TCP

Ivan Bogoje

SEMINARSKI RAD IZ PREDMETA *MREŽE RAČUNALA*

Zagreb, 2007.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Modificiranje funkcije odziva TCP.....	3
3. Određivanje parametara kontrole zakrčenja.....	7
4. Zaključak.....	8
5. Literatura.....	9

1. Uvod

Najveće ograničenje TCP protokola u mrežama velike propusnosti je način na koji kontrolira veličinu prozora za upravljanje zakrčivanjem. Glavni mehanizam za upravljanje veličine prozora zakrčivanja kod TCP-a je AIMD (Additive Increase Multiplicative Decrease), koji definira povećanje prozora zakrčenja kada je slanje uspješno i njegovo smanjivanje, kada se dogodi gubitak paketa. Dakle, osnovna svrha prozora zakrčenja je sprečavanje degradiranja performansi podmreže, kada je u njoj prisutno previše paketa. Mjerenjem je utvrđeno kako trenutni algoritmi, koje podržava protokol TCP, ograničavaju efikasnost iskorištenja mrežnih resursa. To je posebno izraženo kod veza visokih brzina, za koje se ti algoritmi ponašaju prekonzervativno u slučaju kada nema zakrčenja. Kako je općenito u trendu povećanje brzine mreža, potrebno je napraviti modifikacije na TCP-u kako bi se mreža bolje iskoristila. Samo povećanje prozora nije rješenje. Različiti tipovi TCP protokola neznatno su mijenjali mehanizam promjene veličine prozora zakrčenja. Takvi tipovi protokola se više oslanjaju na neke dodatne povratne informacije od same mreže, kako bi postigli bolje performanse. Primjer takvog mehanizma je eksplicitno upozorenje o zakrčenju (Explicit Congestion Notification), ECN TCP, koji koristi ECN algoritam. Međutim takva rješenja, iako u osnovi dobra, ograničena su kod gigabitnih mreža.

Ograničenje TCP protokola proizlazi iz njegove funkcije odziva, koja predstavlja prosječnu propusnost TCP veze. Prosječna propusnost, odnosno brzina slanja TCP-a, iznosi $1.2/\sqrt{p}$ segmenta po jednom vremenu povrata (Round Trip Time, RTT), pri čemu je p vjerojatnost gubitka segmenta na vezi preko koje se prenose podaci. Funkcija odziva određuje i najveću veličinu prozora zakrčenja koju može postići TCP protokol. Na primjer, da bi TCP veza sa standardnim vrijednostima parametara (veličina paketa, RTT itd) postigla brzinu od 10 Gbps, potrebna je veličina prozora zakrčenja od $8,33 \cdot 10^4$ paketa i najviše jednog izgubljenog paketa na svakih $5 \cdot 10^9$ poslanih paketa. Jasno je kako je tako nizak postotak izgubljenih paketa nemoguće postići u današnjim mrežama. Realna vrijednost je oko 0.05%, odnosno jedan izgubljeni paket na 2000 poslanih.

Iz navedenih razloga jasna je potreba za modifikiranjem funkcije odziva TCP-a za režime rada sa velikim prozorom zakrčenja. Postizanje veće brzine prijenosa za zadani p nije problem. Pravi problem je postići te brzine, a u isto vrijeme zadržati kompatibilnost algoritma kontrole zakrčenja sa standardnim TCP protokolom. Drugim riječima, svaki novi algoritam mora funkcionirati s postojećim TCP implementacijama, što znači da je cilj postići veliku brzinu ne uzimajući propusni opseg nemodificiranom TCP-u. Vrlo je važno, da za velike prozore zakrčenja, parametri povećanja i smanjivanja modificiranog TCP-a budu ovisni upravo o veličini prozora zakrčenja. To omogućava postizanje velikih brzina uz realan p s minimalnom opasnosti za ostatak mreže. Na taj način se održava i faktor pravednosti (fairness) s postojećim TCP implementacijama s velikim postocima izgubljenih paketa, tipičnim za Internet.

HighSpeed TCP (HS-TCP) je modifikacija TCP mehanizma kontrole zakrčenja za veze velike brzine. Modificiranje TCP-a u ovom se slučaju odnosi na modificiranje algoritma koji povećava/smanjuje veličinu TCP prozora zakrčenja (CW). To omogućava rad TCP-a s velikim prozorima zakrčenja uz realan postotak odbačenih paketa p . Prilikom dizajna HS-TCP-a postavljeni su sljedeći zahtjevi:

- postići veliku brzinu bez zahtjeva za nerealno niskim postotkom izgubljenih paketa,
- brzo dostići tu brzinu za vrijeme polaganog starta,
- dostići visoku propusnost, bez dugotrajnog kašnjenja, za vrijeme oporavka od višestrukih vremenskih isteka ili prilikom podizanja iz perioda sa malim prozorom zakrčenja,
- ne zahtjeva se povratna informacija od usmjernika,

- ne zahtjeva se povratna informacija od TCP primatelja,
- TCP kompatibilne performanse u okruženju sa srednjim i visokim stupnjem zakrčenja (postotak od 1% ili više odbačenih paketa),
- prihvatljive performanse u prijelaznim uvjetima (za vrijeme povećanja prozora zakrčenja ili prilikom odgovora na višestruka zakrčenja).

Korisnik koji želi postići propusnost od 1 Gbps ili više, može otvoriti više paralelnih TCP veza ili koristiti protokol MulTCP koji se ponaša kao skup N virtualnih TCP veza. Ti pristupi rezultiraju agresivnijim performansama i višim postocima odbačenih paketa ako se koristi u okruženju srednjeg i visokog zakrčenja. Novi pristup, HS TCP, nudi veću fleksibilnost, efektivnost i pravednije natjecanje sa standardnim TCP protokolom u uvjetima zakrčenja.

2. Modificiranje funkcije odziva protokola TCP

Funkcija odziva protokola TCP, $CW = 1.2/\sqrt{p}$, daje prosječnu veličinu prozora zakrčenja normiranu na maksimalnu veličinu segmenta (MSS, Max Segment Size), kao funkciju vjerojatnosti odbacivanja paketa, p . Taj izraz direktna je posljedica AIMD mehanizma koji povećava prozor zakrčenja za jedan segment svakih RTT vremenskih jedinica kada nema zakrčenja:

$$ACK: CW = CW + \frac{a}{CW},$$

i prepolovljava isti kao odgovor na detektirano zakrčenje:

$$Drop: CW = CW - b \times CW,$$

a i b su parametri izraženi u MSS jedinicama. Najčešće se koriste vrijednosti $a = 1$ i $b = 0.5$.

U stacionarnom stanju, veličina prozora zakrčenja za protokol TCP iznosi:

$$CW = \frac{\sqrt{a \times (2 - b)}}{\frac{2b}{\sqrt{p}}}$$

izraženo u MSS segmentima. Koristeći vrijednosti parametara a i b dobivamo funkciju odziva

$$CW = \frac{1.2}{\sqrt{p}}$$

Vrijednosti te funkcije za neke parametre p navedeni su u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Ovisnost parametra CW o veličini p za standardnu TCP funkciju

p	CW	RTT između gubitaka
10^{-2}	12	8
10^{-3}	38	25
10^{-4}	120	80
10^{-5}	379	252
10^{-6}	1200	800
10^{-7}	3795	2530
10^{-8}	12000	8000
10^{-9}	37948	25298
10^{-10}	120000	80000

Da bi se specificirala modificirana funkcija odziva za HS-TCP, uvedena su tri nova parametra: *LowWin*, *HighWin*, i *HighP*. Kako bi se osigurala TCP kompatibilnost, korištena funkcija odziva jednaka je standardnoj funkciji odziva TCP protokola kada je prozor zakrčenja ispod ili jednak vrijednosti *LowWin*, a jednaka je HS-TCP funkciji odziva kada je prozor zakrčenja veći od vrijednosti *LowWin*. U referentnom dokumentu [1], vrijednost parametra *LowWin* se postavlja na 38 segmenata. Toj vrijednosti parametra *LowWin* odgovara vrijednost parametra $p = 10^{-3}$. Sljedeći je korak odrediti *HighP* parametar HS-TCP funkcije odziva. U već navedenoj referenci za prosječnu maksimalnu veličinu prozora zakrčenja uzima se $8,3 \cdot 10^4$ segmenata. To je, u grubo, veličina potrebna za

osiguravanje propusnosti od 10 Gbps, za TCP vezu sa standardnom veličinom segmenta i RTT vrijednošću od 100 ms. Za te vrijednosti parametara, vrijednost *HighP* se postavlja na iznos 10^{-7} . Pretpostavlja se kako je ta vrijednost parametra *HighP* realna u današnjem okruženju. U isto vrijeme, ta vrijednost parametra *HighP*, osigurava prihvatljivu relativnu pravednost (objašnjeno kasnije u tekstu), između HS funkcije odziva i standardne funkcije odziva. To je posebno važno za okruženje u kojem je vjerojatnost izgubljenih paketa u rasponu od 10^{-4} do 10^{-5} .

Radi jednostavnosti, želja je sačuvati svojstvo funkcije odziva koja daje ravnu liniju na log-log skali (kao i standardna funkcija odziva). Funkcija odziva za veličine prozora zakrčenja veće od *LowWin*, izgleda ovako:

$$CW = \left(\frac{p}{lowP}\right)^S \times LowWin,$$

pri čemu se *LowP* odnosi na vrijednost *p* za *LowWin*, te *S* koji iznosi

$$S = \frac{(\log HighWin - \log LowWin)}{(\log HighP - \log LowP)}.$$

Nakon uvrštavanja svih vrijednosti, dobiva se konačni oblik funkcije odziva

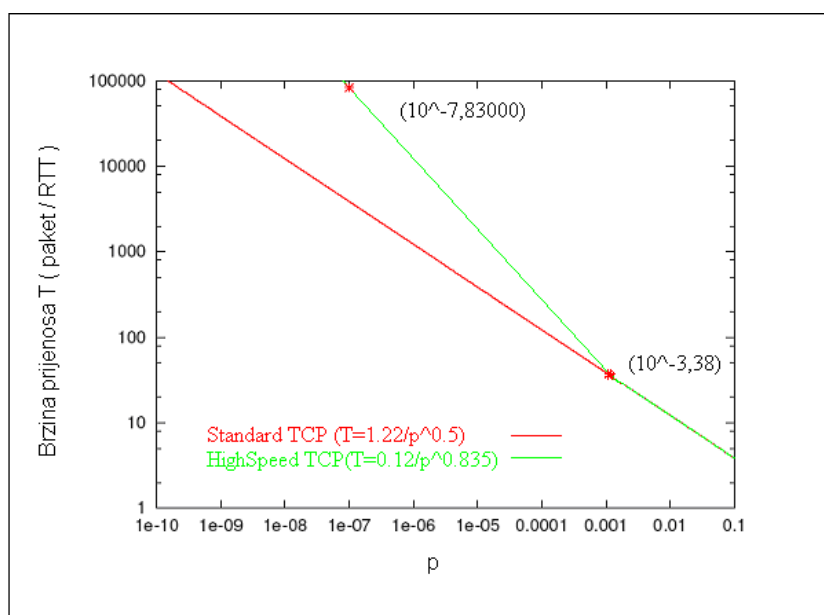
$$CW = \frac{0.12}{p^{0.835}} \quad (1).$$

Vrijednosti te funkcije na parametre CW i RTT prikazane su u tablici 2.2 i na slici 2.1

Tablica 2.2. Ovisnost CW o veličini *p* za HS TCP funkciju

p	CW	RTT između gubitaka
10^{-2}	12	8
10^{-3}	38	25
10^{-4}	263	38
10^{-5}	1795	57
10^{-6}	12279	83
10^{-7}	83981	123
10^{-8}	574356	180
10^{-9}	3928088	264
10^{-10}	26864653	388

Iz navedene tablice 2.2 i slike 2.1 može se primijetiti kako se brzina prijenosa brže povećava kod modificiranog TCP-a, ali i kako se RTT vremena između gubitaka sporo povećavaju kao funkcija opadanja broja odbačenih paketa. Rezultat su realnije vrijednosti upravo za ta vremena.



Slika 2.1. Standardna i HS funkcija odziva

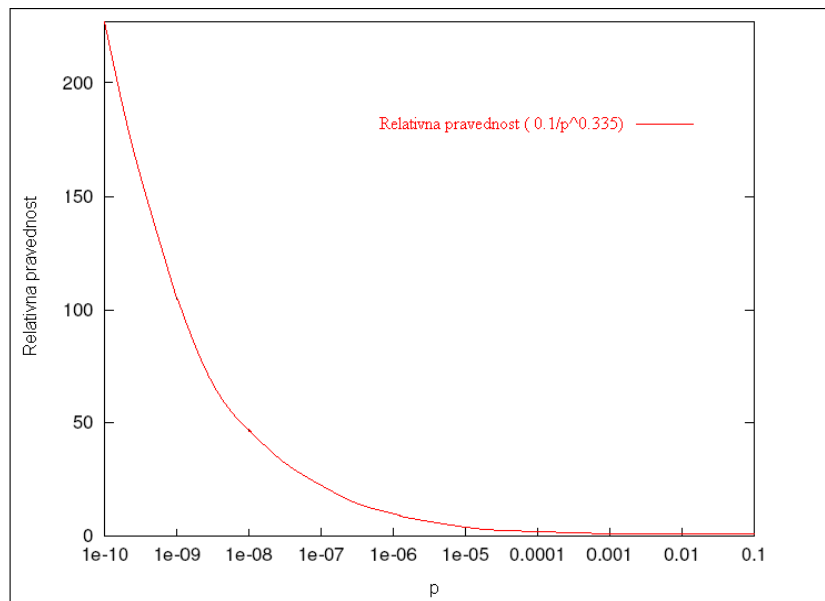
Standardna i HighSpeed funkcija odziva mogu se iskoristiti za izravno određivanje relativne pravednosti dva toka koji koriste dvije funkcije odziva. Na primjer, za zadani iznos p uzimamo prosječnu veličinu prozora zakrčenja za standardni TCP i označavamo ga sa $CW_{Standard}$ te za HS TCP kojeg označavamo sa $CW_{HighSpeed}$. U tom slučaju jedna HighSpeed TCP veza ima $CW_{HighSpeed}/CW_{Standard}$ puta višu propusnost od jedne standardne TCP veze, koje se natječu u istom okruženju. Taj omjer, $CW_{HighSpeed}/CW_{Standard}$, definira relativnu pravednost dva toka. Relativna pravednost je prikazana u tablici 2.3, za parametre korištene do sada.

Tablica 2.3. Relativna pravednost

p	Pravednost	Skupni CW	Propusni opseg
10^{-2}	1.0	24	2.8 Mbps
10^{-3}	1.0	76	9.1 Mbps
10^{-4}	2.2	383	45.9 Mbps
10^{-5}	4.7	2174	260.8 Mbps
10^{-6}	10.2	13479	1.6 Gbps
10^{-7}	22.1	87776	10.5 Gbps

Drugi stupac prikazuje relativnu pravednost za zadani p u prvom stupcu. Treći stupac prikazuje iznose skupnog CW, odnosno prosječnu veličinu prozora zakrčenja za dvije TCP veze. Četvrti stupac prikazuje propusni opseg, potreban kako bi dvije veze postigle taj skupni CW i p . Vidljivo je da je, primjerice, za $p = 10^{-4}$ faktor 2.2, što znači da HS funkcija uzima 2.2 puta više propusnosti od standardne funkcije. Za $p = 10^{-6}$ ili 10^{-7} nepravednost je mnogo izraženija. Za te vrijednosti parametra p , povećanje brzine prijenosa modificiranog TCP protokola je puno izraženije od one kod standardnog TCP protokola.

Slika 2.2 prikazuje ovisnost relativne pravednosti o veličini p .



Slika 2.2. Ovisnost relativne pravednosti o veličini p

3. Određivanje parametara kontrole zakrčenja

Za HS-TCP protokol, potrebno je odrediti parametre a i b kontrole zakrčenja. Razlog je nemogućnost postizanja HS funkcije odziva s vrijednostima parametara koji vrijede za standardnu funkciju odziva. Povećavanje i smanjivanje veličine prozora zakrčenja događa se po već navedenom algoritmu,

$$ACK : CW = CW + \frac{a}{CW},$$

$$Drop : CW = CW - b \times CW,$$

pri čemu su a i b parametri kontrole zakrčenja izraženi u segmentima po RTT. Za standardni TCP, $a = 1$ i $b = 0.5$ bez obzira na veličinu prozora zakrčenja. Za HS-TCP protokol potrebno je modificirati vrijednosti ta dva parametra.

HS-TCP koristi iste vrijednosti parametara za $CW \leq LowWin$. U nastavku je prikazan postupak određivanja a i b HS TCP-a za veće veličine prozora zakrčenja. Za $CW = HighWin$ specificiran je $p = HighP$. To uspostavlja sljedeću vezu između a i b za $CW = HighWin$.

$$a = \frac{HighWin^2 \times HighP \times 2b}{(2 - b)} \quad (2)$$

Nakon toga uvodi se parametar $HighD$, odnosno b za $CW = HighWin$. Pretpostavlja se da je njegova vrijednost 0.1, odnosno 10% smanjenje veličine prozora zakrčenja u slučaju zakrčenja. Iz jednadžbe (2) i $HighD = 0.1$, dobiva se $a = 72$, odnosno povećanje za 72 segmenta ili ispod 0.1% povećanje unutar RTT. Preostaje odrediti još vrijednosti parametara za veličine prozora zakrčenja veće od $LowWin$. Pretpostavka je pustiti da se b mijenja linearno kao $\log(CW)$, tada se dobija slijedeća jednadžba:

$$b = (HighD - 0.5) \frac{(\log(CW) - \log(LowWin))}{(\log(HighWin) - \log(LowWin))} + 0.5.$$

Parametar a se izračunava kako slijedi,

$$a = \frac{HighWin^2 \times HighP \times 2b}{(2 - b)}$$

gdje je p dobiven iz jednadžbe (1).

$$p = \frac{0.078}{CW^{1.2}}$$

Jasno je kako i parametar a i parametar b ovise o trenutnoj veličini prozora zakrčenja.

Efikasnosti radi pretpostavlja se kako će razne implementacije koristiti već izračunate, pregledne tablice, za pronalaženje parametara a i b .

4. Zaključak

Zbog potrebe za sve većim brzinama na Internetu, opravdana je modifikacija standardnog TCP u HS-TCP protokol. Rezultati simulacija i eksperimenata pokazuju da je korist koju donosi HS funkcija odziva veća od njenih loših karakteristika (prije svega, nepravednost prema standardnom TCP-u). Eksperimenti su također pokazali da je HS-TCP protokol sigurno ugraditi u Internet, bez straha da će uzrokovati nestabilnost mreže.

5. Literatura

1. Sally Floyd, *HighSpeed TCP for Large Congestion Windows*, RFC3649, IETF, 2003.
2. Sally Floyd, Sylvia Ratnasamy, Scott Shenker, *Modifying TCP's Congestion Control for High Speeds*, 2002.
3. Yee-Ting Lee, Yee's Homepage. Dept of Physics & Astronomy, UCL.
URL: <http://www.icir.org/floyd/hstcp.html> (2/3/2007).