

HAP deo II: Dodela Kanala-II, Transportni sloj

Pravednija dodela fiksnih kanala.

Poboljšanje performanse transportnog sloja.

Pravednija UFCA: UFCA-II

- ◆ UFCA-II izabira određen br. kanala od BS, koja je u dometu i koja ima najviše raspoloživih kanala.
- ◆ Broj kanala koji se izabira zavisi od praga, koji se definiše kao min broj bita potrebnih da se ostvari kvalitetna veza.
- ◆ Na sledećem slajdu je data formula za predajnu snagu BS, koja omogućava prijem na rastojanju d .
Legenda:

P_{tx} – predajna snaga BS

d – rastojanje između korisnika i HAP-a

G_{tx} – pojačanje HAP antene

G_{ref} – referentno pojačanje

G_{rx} – pojačanje korisničke antene

λ – talasna dužina elektromagnetnog talasa

Zavisnost predajne snage od rastojanja

$$P_{TX} = \frac{P_{RX} \cdot d^2}{G_{TX} \cdot G_{Ref}} \quad [1]$$

$$G_{Ref} = \frac{G_{RX}}{\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2} \quad [2]$$

- ◆ Formula 1 definiše predajnu snagu u zavisnosti od osetljivosti prijemnika, rastojanja, pojačanja HAP antene i referentnog pojačanja.
- ◆ Formula 2 definiše ref. pojačanje u zavisnosti od pojačanja prijemne antene i talasne dužine elektromagnetnog signala.

Vršna usmerenost (D_{\max}) i usmerenost u tački u kojoj se nalazi korisnik (D)

$$D_{\max} = \frac{4 \cdot \pi}{4 \cdot a \cos(2^{-n\phi}) \cdot a \cos(2^{-n\phi})} \quad [3]$$

$$D = D_{\max} \cdot \left(\sqrt[n]{\cos(\theta_{\text{user}}) \cdot \cos(\phi_{\text{user}})} \cdot \sqrt[n]{\cos(\theta_{\text{user}}) \cdot \sin(\phi_{\text{user}})} \right) \quad [4]$$

◆ n indeksi optimizuju usmerenost na ivicama ćelije. Oni su funkcije antenskog snopa od 3dB.

◆ Uglovi θ i ϕ su elevacija i azimut tačke u kojoj se nalazi korisnik u odnosu na pravac od BS do centra ćelije na zemlji (boresight).

Potrebna predajna snaga terminala

$$P_{RX} = D_x \cdot \frac{G_{Ref}}{d^2}$$

[5]

- ◆ Formula 5 daje potrebnu predajnu snagu terminala da bi mogao da komunicira sa HAP. D_x je usmerenost u tački x na odstojanju R od centra ćelije.
- ◆ Primenom [2] u [5] pa u [1], dobija se potrebna predajna snaga BS, kojom se pokriva ćelija poluprečnika R .

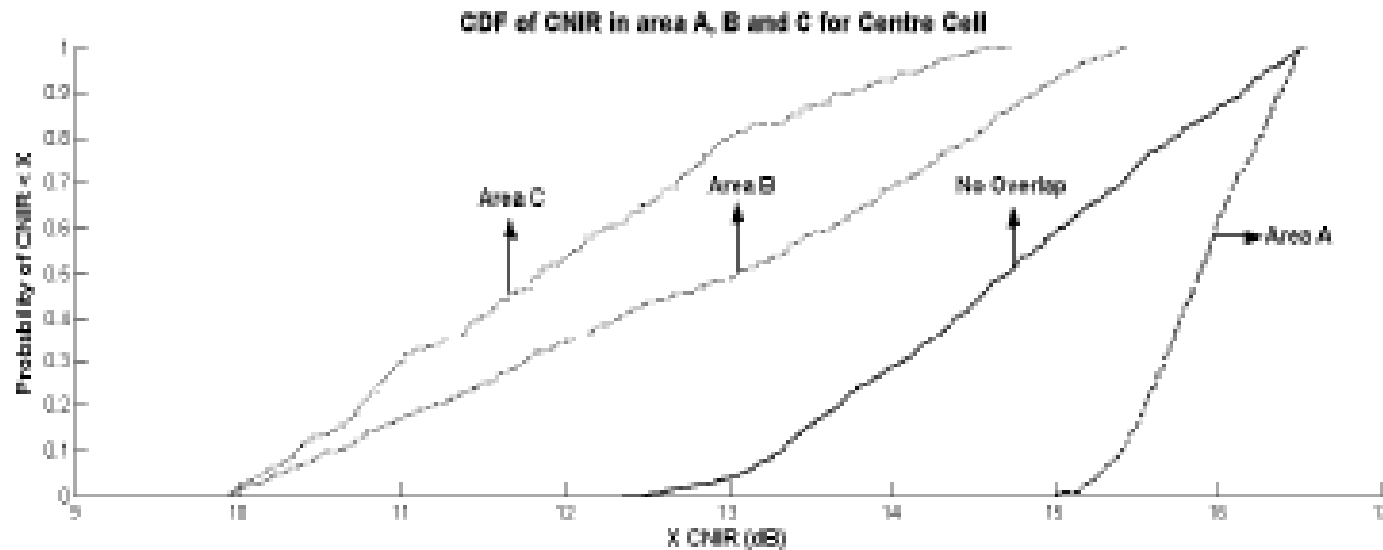
Tipične vrednosti parametara

1	Nivo prijemnog šuma (N_{RX})	-133.9	dBm
2	Frekvencija (f)	28	GHz
3	Referentno pojačanje (G_{Ref})	-82.4	
4	Visina letenja HAP-a (h)	22	km
5	Predajna snaga BS (P_{TX})	-26.6	dBm
6	Broj ćelija (c)	37	
7	Kanala po ćeliji	240	
8	Veličina klastera (K)	7	
9	Poluprečnik ćelije (R)	1.25	km
10	Pojačanje antene terminala (G_{RX})	38	dB
11	Pojačanje antene BS (G_{TX})	39	dB
12	Širina propusnog opsega (BW_{RF})	10	MHz
13	Bit po vezi po okviru (BpC_{thres})	15	b/c/f

Uprošćenja na kojima se zasniva UFCA

- ◆ Brzina prenosa podataka je izračunata na osnovu oblasti sa najgorim CNR.
- ◆ Postavljen je min prag od x bita u sekundi.
- ◆ Koristi se jedna ista modulaciona šema u svim oblastima.
- ◆ Ovo omogućava uniformnu brzinu prenosa podataka i uniformni nivo blokiranja korisnika.
- ◆ UFCA nije uvažavala različitost CNR nivoa između različitih oblasti.
- ◆ UFCA-II uvažava međusobne smetnje i koristi merenje CINR nivoa radi izbora modulacione šeme.

CINR nivoi u različitim oblastima ćelija ($R=1.25\text{km}$, $K=7$)

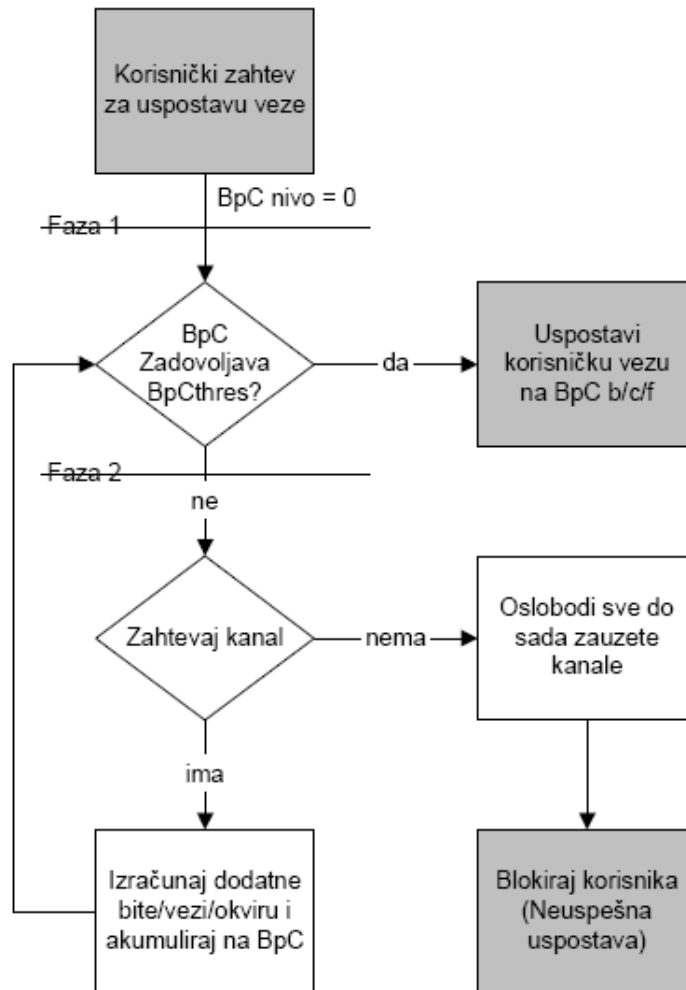


- ◆ CINR nivoi su veći u oblastima sa preklapanjima, pa se u njima ne mogu koristiti više modulacione šeme.
- ◆ Dakle, iako je $P(\text{Block})$ niža u oblastima B i C (sa preklapanjima), nego u oblasti A, veze u ovim oblastima moraju da se uspostavljaju na mnogo nižim brzinama prenosa podataka.

UFCA-II

- ◆ UFCA-II obezbeđuje pravedniju dodelu brzina prenosa, a zadržava uniformno $P(\text{Block})$ u svim oblastima.
- ◆ UFCA-II algoritam ima dve faze:
 - Faza 1: Korisniku se dodeljuje jedan ili više kanala tako da br. bita po vezi i okviru (BpC) pređe zadati prag (BpCthres).
 - Faza 2: Korisnik bira BS, koja je u dokumentu i koja ima najviše slobodnih kanala.
- ◆ Prvo se dodeli kanal izabrane BS sa prihvatljivim CINR za BPSK modulaciju.
- ◆ Dodatni kanali se dodeljuju od iste BS.

UFCA-II Algoritam

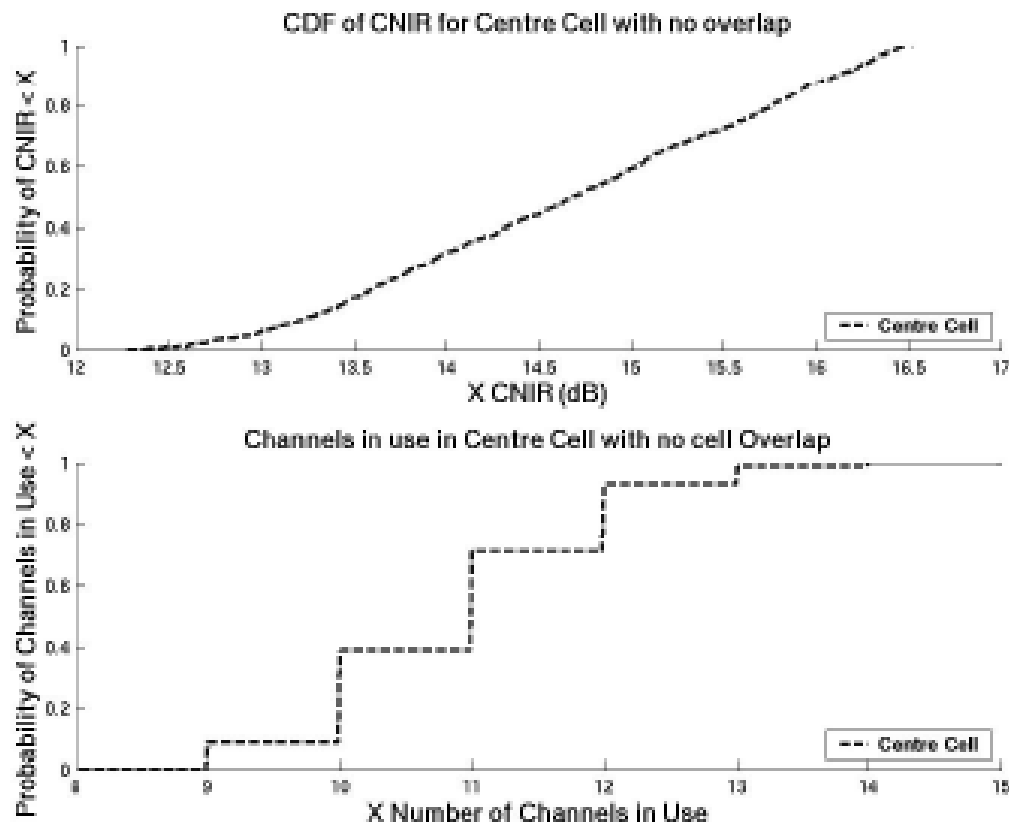


- ◆ Novi korisnici će biti blokirani ukoliko ometaju tekuće aktivne korisnike.
- ◆ Radi minimiziranja ovakvog blokiranja, postavljena je margina Eff-SNR od 5 dB, tako da novi korisnici neće biti blokirani sve dotle dok njihov CINR može da zadovolji BPSK modulaciju.

Tabela modulaciónih šema

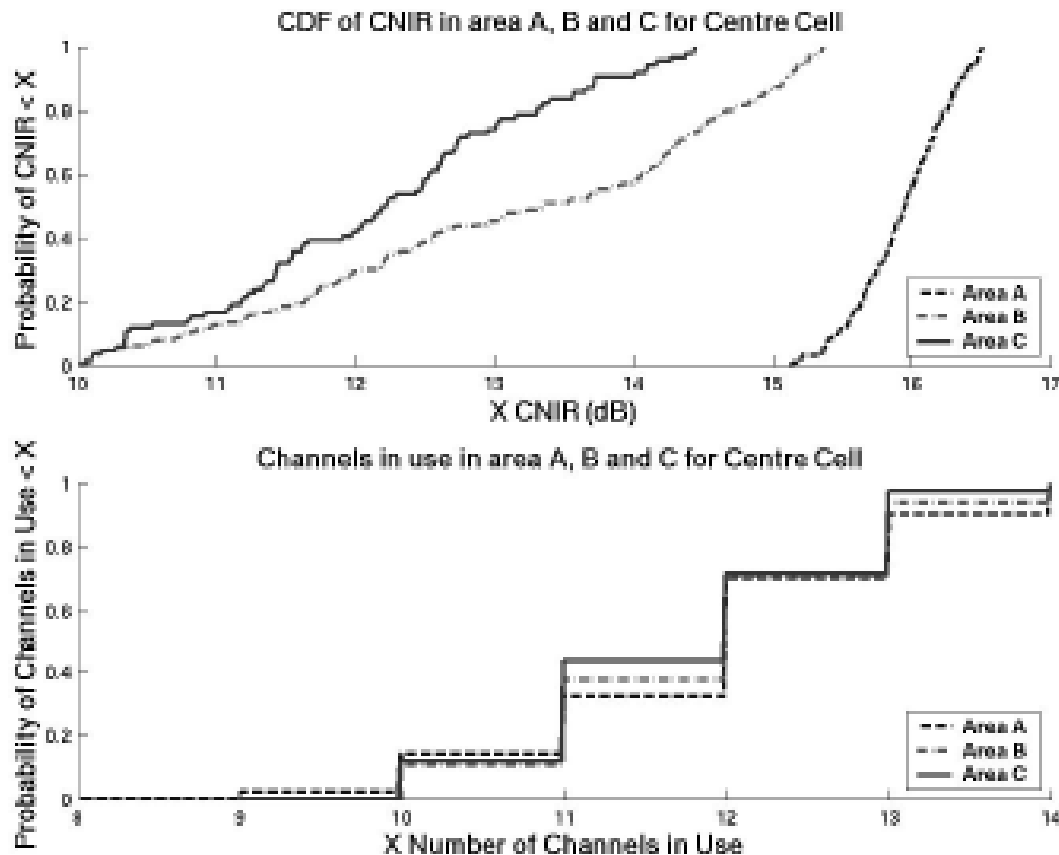
Modulaciona šema	Biti/Simbolu	Odnos signal-šum SNR (dB)	Zaštitna margina Eff-SNR (dB)
BPSK	1	2.3	2.3
QPSK	2	10	15
8PSK	3	15.5	20.5
32-QAM	5	17	22
64-QAM	6	25	30

Performansa: slučaj bez preklapanja ćelija $R=1\text{km}$ (oblasti B i C ne postoje)



- ◆ I grafik: verovatnoća da je CINR manji od X (moguće vrednosti X su date na apcisi).
- ◆ II grafik: verovatnoća da je broj zauzetih kanala manji od X (moguće vrednosti X su date na apcisi).

Performansa: slučaj sa preklapanjem ćelija, $R=1.25\text{km}$, postoje B i C oblasti



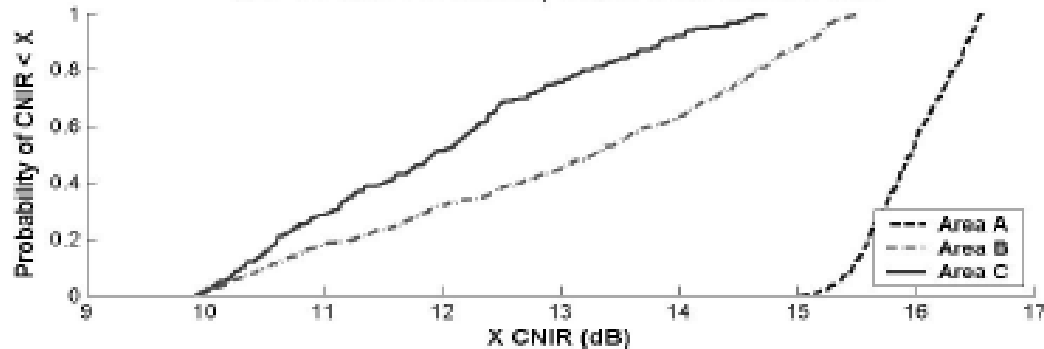
- ◆ Upotreba kanala zavisi od CINR, koji je za A (kriva desno) bolji nego za B (srednja kriva) i C (kriva levo).
- ◆ Zato se u B i C moraju koristiti niže modulacije, što dovodi do veće potražnje za kanalima da bi BpCthres bio zadovoljen.

Upotreba kanala i $P(\text{Block})$ u slučaju sa preklapanjem ćelija

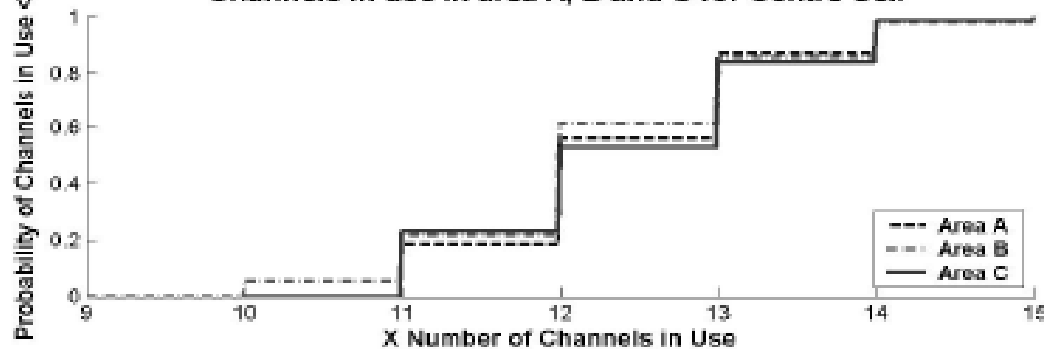
- ◆ Korisnici u oblasti C u proseku koriste više kanala od korisnika u oblastima B i A.
- ◆ Brzina prenosa podataka je uniformna u svim oblastima, ali verovatnoća blokiranja nije.
- ◆ Da bi se obezbedila uniformna verovatnoća blokiranja koristi se prethodno opisana RAF tehnika.
- ◆ Vrednosti RAF parametara: $a=0.6$, $b=0.2$, $OTvar = 6.5$ Erlanga/km², $OTopt = 6$ Erlanga/km².
- ◆ RAF se aktivira kada preostane samo 5 kanala kod svake BS koja je u dometu.

Performansa: slučaj sa RAF

CDF of CNIR in area A, B and C for Centre Cell



Channels in use in area A, B and C for Centre Cell



Verovatnoća blokiranja sada postaje uniformna, svuda oko 2.5%.

	Oblast A	Oblast B	Oblast C
Bez preklapanja ćelija	4.2%	N/A	N/A
Sa preklapanjem ćelija	3.4%	1.8%	0.1%
UFCA-II	2.5%	2.6%	2.5%

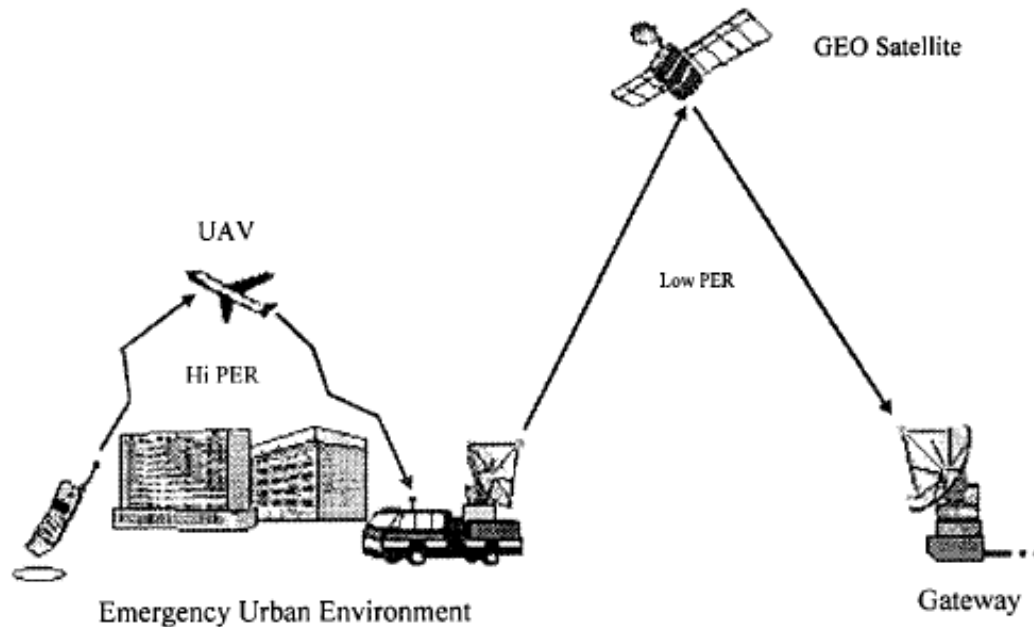
Poboljšanje performanse transportnog sloja za veze preko HAP i satelita

- ◆ HAP se može povezivati sa satelitom da bi se formirala veća oblast pokrivanja i radi povezivanja sa veoma udaljenim lokacijama.
- ◆ Od posebnog interesa su TCP veze, kao dominantan oblik povezivanja u Internetu.
- ◆ Performansa transportnog sloja se može poboljšati kombinovanjem tehnike deljenja (splitting), radi ubrzanog povećanja klizajućeg prozora uprkos velikom kašnjenju, zajedno sa TCP Westwood protokolom (modifikacija TCP-ja za veze preko satelita).

Dva načina održavanja TCP veza

1. Veze od-kraja-do-kraja (end-to-end). Razmatraju se dve verzije TCP-ja:
 - ◆ TCP New Reno (TCPNR), klasičan (legacy) TCP protokol
 - ◆ TCP Westwood (TCPW), verzija namenjena za satelitske veze
2. Server zastupnik (proxy) na HAP-u:
 - ◆ Ideja je da se TCP veza podeli na dva dela, deo sa velikim gubicima i malim kašnjenjem i deo sa manjim gubicima i vrlo velikim kašnjenjem.
 - ◆ Onda se na ovim delovima mogu primeniti različite namenske adaptacije TCP-ja.

Arhitektura sistema



- ◆ HAP se povezuje sa satelitom preko stanice u vozilu, jer satelitska antena i primopredajnik imaju značajnu težinu i cenu.
- ◆ Na taj način oprema na HAP-u može biti vrlo jednostavna, čime je i njeno održavanje prosto.

TCP Westwood (TCPW)

- ◆ Pošiljalac stalno prati ACK-ove od primaoca i računa procenu ERE (Eligible Rate Estimate).
- ◆ ERE predstavlja procenu poželjne brzine prenosa podataka u zavisnosti od preopterećenja i širine propusnog opsega na TCP putanji.
- ◆ ERE ispravno računa ponovljene potvrde (DUPACK) i zakašnjene potvrde (ACK).
- ◆ Nakon gubitka paketa (na šta ukazuju 3 DUPACK ili istek vremenske kontrole), pošiljalac postavlja prozor preopterećenja (cwnd) i prag sporog početka na osnovu tekuće vrednosti ERE.

Algoritam za postavljanje cwnd i ssthresh

```
if (3 DUPACK are received)
    ssthresh = (ERE * RTTmin) / seg_size;
    if (cwnd > ssthresh) /* congestion avoidance */
        cwnd = ssthresh;
    endif
endif
```

```
if ( coarse timeout expires )
    cwnd = 1;
    ssthresh = (ERE * RTTmin) / seg_size;
    if ( ssthresh < 2 )
        ssthresh = 2;
    endif
endif
```

ERE proračun

$$\hat{s}_k = \alpha_k \hat{s}_{k-1} + (1 - \alpha_k) s_k$$

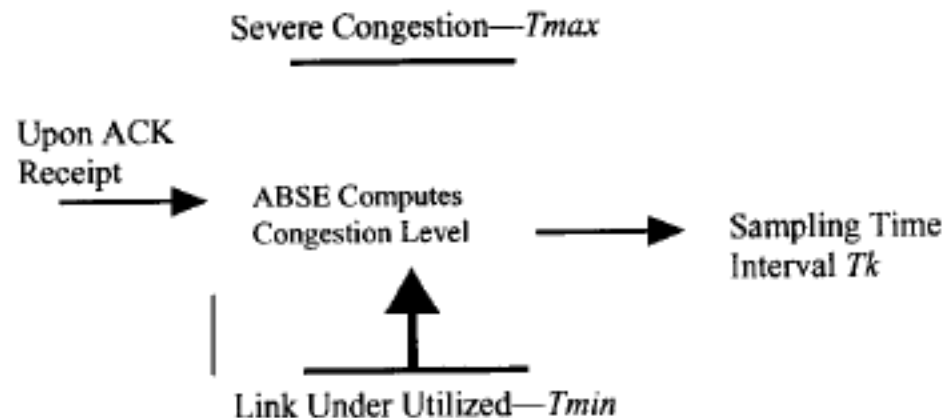
$$\alpha_k = \frac{2\tau_k - \Delta t_k}{2\tau_k + \Delta t_k}$$

$$s_k = \frac{\sum_{d_{t_j} > t_k - \tau_k} d_{t_j}}{T_k}$$

- ◆ t_k je trenutak kada je pošiljalac primio k -ti ACK od primaoca
- ◆ s_k je ERE uzorak u trenutku t_k
- ◆ s_k sa kapiicom je procena ERE u t_k , prva jednačina (1)
- ◆ Filtar (1) se naziva ABSE (Adaptive Bandwidth Share Estimation)
- ◆ τ_k je parametar filtra koji određuje pojačanje filtra
- ◆ d_{t_j} je broj isporučenih bajta koje prijavljuje k -ti ACK
- ◆ T_k je vremenski interval u kom se računa ERE

Određivanje periode odabiranja T_k (1/2)

- ◆ TCPW održava adaptivnu periodu odabiranja: što je oštrije preopterećenje to je ova perioda duža.
- ◆ T_k , koji je pridružen k-tom ACK, se bira između dva ekstrema, kao na slici.
- ◆ T_{min} je jednako vremenu između nailaska 2 ACK, a T_{max} je jednako RTT.
- ◆ ABSE estimator poredi *ostvarenu brzinu* sa trenutnom brzinom slanja koja iznosi $cwnd/RTT$.
- ◆ Što je veća ova razlika, oštrije je preopterećenje i potrebno je veće T_k .



Određivanje periode odabiranja T_k (2/2)

$$\hat{s}_{k-1} * RTT_{\min} \geq cwnd$$

$$T_k = RTT * \frac{cwnd - (\hat{s}_{k-1} * RTT_{\min})}{cwnd}$$

$$T_k = RTT * \frac{\left(\frac{cwnd}{RTT_{\min}} - \hat{s}_{k-1}\right)}{\frac{cwnd}{RTT_{\min}}}$$

- ◆ Po prijemu ACK, estimator proveriti odnos zadnje procene s_{k-1} i tekuće vrednosti $cwnd$.
- ◆ Ako je ovaj uslov ispunjen, nema preopterećenja i T_k se postavlja na T_{\min} .
- ◆ Ako gornji uslov nije ispunjen, T_k se postavlja na vrednost ovog izraza (2).
- ◆ (2) se može i ovako napisati (3), $cwnd/RTT_{\min}$ je očekivana brzina slanja, a s_{k-1} je ocena brzine koju mreža dozvoljava.

Tehnika deljenja TCP veze na segmente (Splitting)

- ◆ Spada u klasu tehnika koje zahtevaju uvođenje zastupnika za poboljšanje performanse PEP (Performance Enhancing Proxy).
- ◆ Jedna od mnogih PEP šema je tehnika deljenja TCP veze na segmente.
- ◆ Ona uvodi TCP čvorove (gateways), koji održavaju više TCP veza sa drugim TCP čvorovima i sa krajnjim korisnicima.
- ◆ U međusobnoj komunikaciji TCP čvorovi mogu koristiti specijalizovan ili optimizovan TCP.

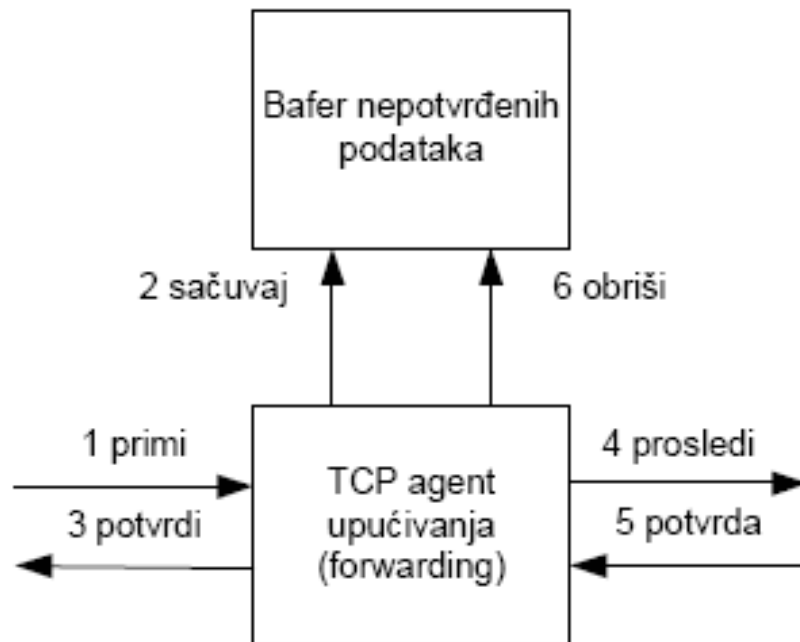
Prednosti i nedostaci deljenja TCP veze na segmente (1/2)

- ◆ Podela TCP veze na segmente dovodi do smanjenja RTT na svakom segmentu.
- ◆ Ovo se plaća dodatnom memorijom i obradom u TCP čvorovima radi upućivanja paketa između više veza.
- ◆ Drugo, narušava se TCP semantika od-kraja-do-kraja jer oštećenje paketa u TCP čvoru dovodi do prekida TCP veze.
- ◆ Druga prednost je da se na različitim segmentima veze mogu koristiti različite verzije TCP protokola.

Prednosti i nedostaci deljenja TCP veze na segmente (2/2)

- ◆ Npr. na nekim segmentima mogu se koristiti veze više tačaka (multicast) radi boljeg iskorišćenja prirode bežičnog prenosa.
- ◆ Treća prednost je brži oporavak od grešaka i bolja ukupna pouzdanost u prisustvu senki (shadowing) i visoke stope grešaka u prenosu.
- ◆ Alternativni pokušaj da se ostvare ove prednosti je primena ARQ na L2, npr. IEEE 802.11 MAC protokol.
- ◆ U tom rešenju sav saobraćaj podleže ARQ šemi, uključujući npr. VoIP, što je očigledno pogrešno.

Način rada TCP čvora



- ◆ Nakon prijema paketa, čvor ga uskladišti i potvrdi (koraci 1, 2 i 3).
- ◆ Zatim prosleđuje paket i čeka potvrdu (korak 4). Do potvrde paket se čuva.
- ◆ Nakon prijema potvrde ACK, paket se briše iz lokalnog bafera čvora (koraci 5 i 6) .

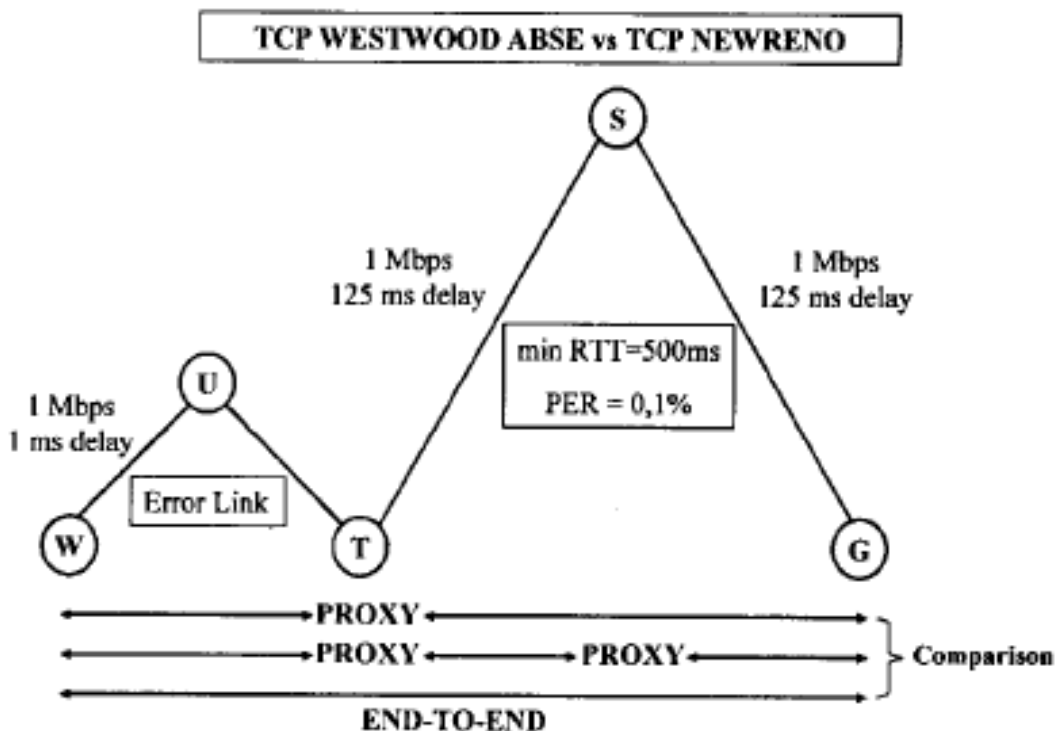
Upravljanje saobraćajem u TCP čvoru

- ◆ TCP čvor koristi TCP mehanizam za oglašavanje prihvatljive veličine prozora.
- ◆ Smanjujući veličinu prozora, kako se lokalni bafer sve više popunjava, TCP čvor ograničava brzinu pošiljaoca.
- ◆ Ograničavajući prozor na polovinu slobodnog prostora u baferu, čvor onemogućava gubitak paketa.
- ◆ Kad se slobodan prostor potuno iscrpi, zbog nepotvrđenih paketa, čvor oglašava prozor veličine 0.
- ◆ U tom slučaju čvor koristi dodatni ACK da restartuje pošiljaoca kada se pojavi slobodan prostor u baferu.

NS-2 simulacija

- ◆ Cilj: uporediti performansu predložene arhitekture (TCPW uz deljenje TCP veze na segmente) sa tradicionalnim pristupom (TCPNR).
- ◆ NS-2 omogućava simulacije pobuđene diskretnim događajima.
- ◆ Mrežne konfiguracije mogu uključiti fizički sloj, usmeravanje, MAC, transport i aplikacije u ožičenim i bežičnim okruženjima (LAN, sateliti, itd.).
- ◆ NS-2 služi za eksperimente sa novim protokolima.
- ◆ Parametri: veličina paketa, veličina redova čekanja u čvorovima i bafera u zastupnicima, kašnjenje linka, kapacitet linka, stopa grešaka, broj tokova u kanalu i uključeni protokoli.

Mrežna konfiguracija

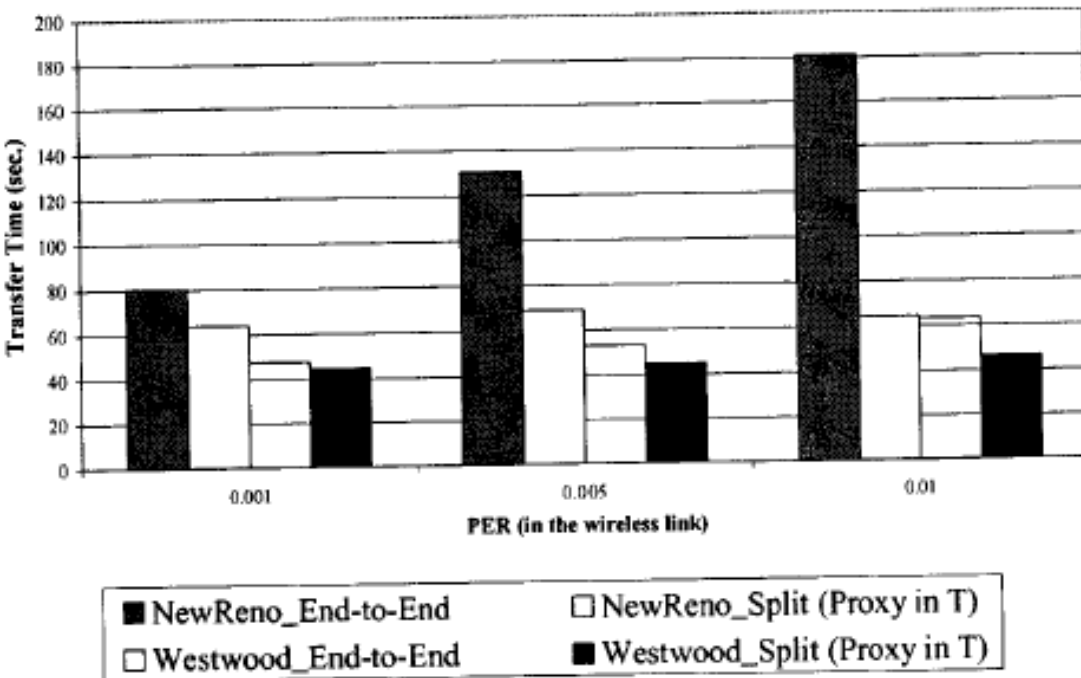


- ◆ Čvorovi: W-terminal, U-HAP, T-vozilo, S-GEO satelit, G-zemaljski čvor fiksne mreže.
- ◆ Date su brzine prenosa podataka, kašnjenja, i PER (Packet Error Rate) na linkovima.
- ◆ Veličina paketa je 1500 bajta, što uz brzinu od 1Mb/s, daje kapacitet od 42 paketa od kraja-do-kraja.
- ◆ Svaki čvor ima bafer od 50 paketa, a zastupnik od 200 paketa, ako drugačije nije rečeno.

Eksperimenti: menjanje vrednosti parametara

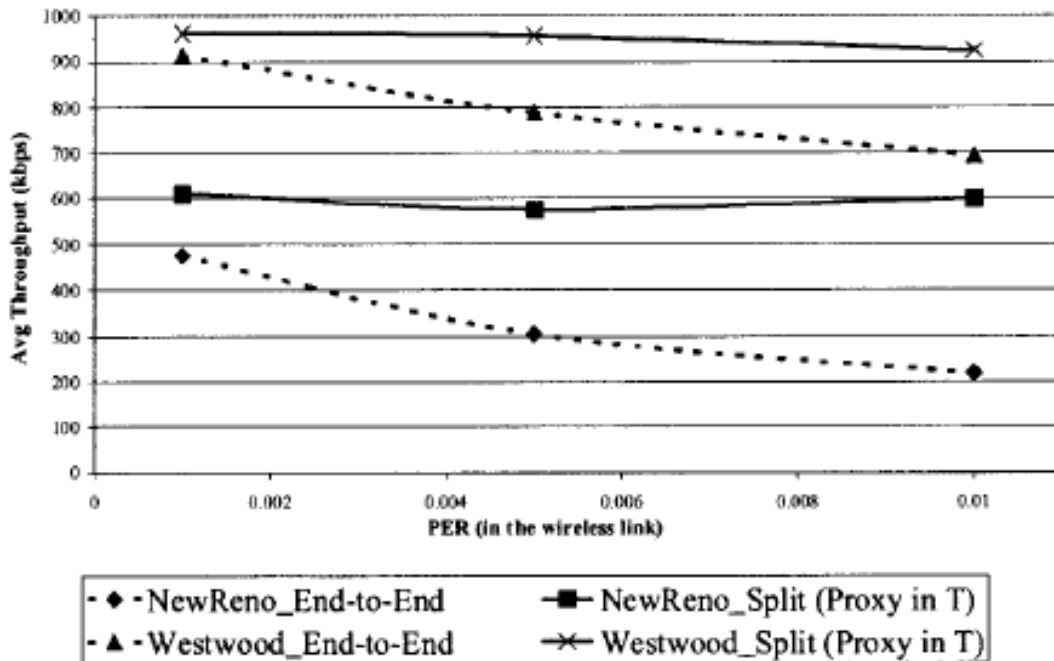
- ◆ Transportni protokol: TCPNR ili TCPW.
- ◆ PER na deonici W-U: 0.1%, 0.5% ili 1%.
- ◆ Zastupnik u čvoru:
 - T (vozilo): segmentiranje TCP veze omogućeno ili sprečeno
 - S (satelit): segmentiranje TCP veze omogućeno ili sprečeno
- ◆ Veličina bafera (keš) u zastupniku: 10, 20, 30, ... 240 ili 250 paketa.
- ◆ Smer saobraćaja: od W ka G ili od G ka W.
- ◆ Na osnovu 20 ponovljenih eksperimenata za svaku konfiguraciju izračunata je propusnost u periodu od 230s, kao i u periodu potrebnom da se pošalje datoteka od 5M bajta.
- ◆ Slede rezultati.

Vreme potrebno da se prenese datoteka od 5M bajta od W (term) do G (zem.čvor)



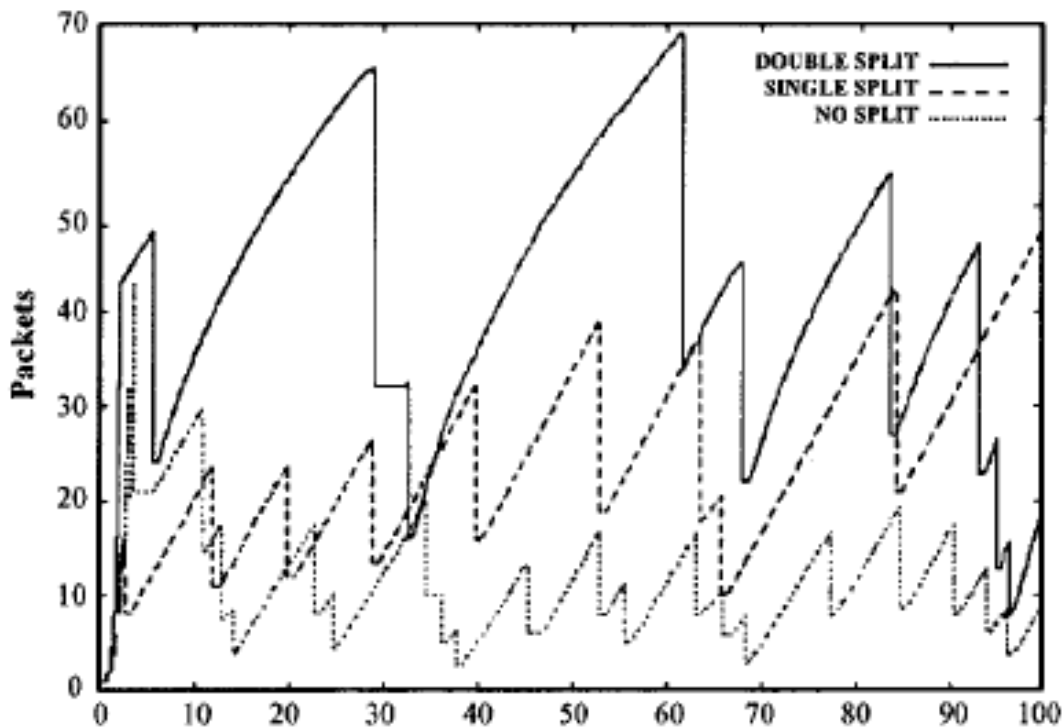
- ◆ U ovom pogledu TCPW ima značajnu prednost u odnosu na TCPNR.
- ◆ Njemu treba svega 59% (za 0.1% PER) do 35% (za 1% PER) vremena koje je potrebno TCPNR.
- ◆ Ovo vreme se dalje smanjuje deljenjem TCP veze (split).
- ◆ Vidimo da tehnika deljenja pokazuje konstantnu performansu za različite PER.

Prosečna propusnost tokom 230s prenosa datoteke od W ka G



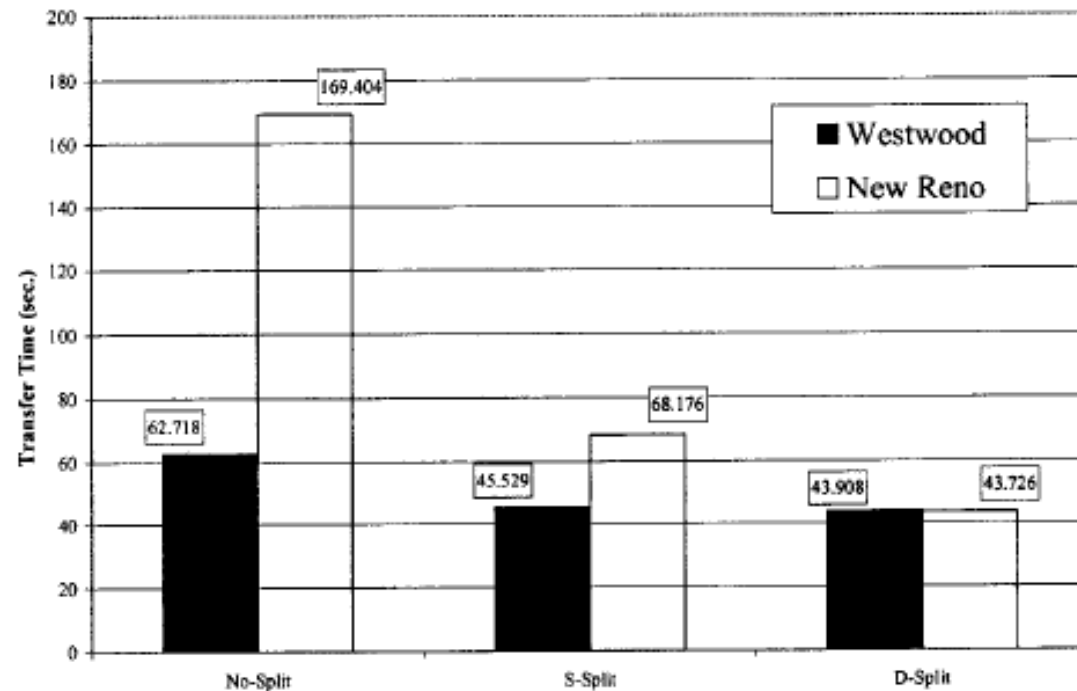
- ◆ Ponovo TCPW udružen sa zastupnikom u T (vozilo) daje najbolje rezultate, sa prosečnom propušnošću od 923 kb/s (za 1% PER) do 961 kb/s (za 0.1% PER).
- ◆ Deljenje TCP veze skriva česte greške u prenosu na najkraćoj bežičnoj deonici od ostatka veze, pošto za sve transportne protokole prosečna propusnost ostaje relativno konstantna, bez obzira na PER.

Veličina prozora na zadnjoj deonici do G (mera trenutne propusnosti kod G)



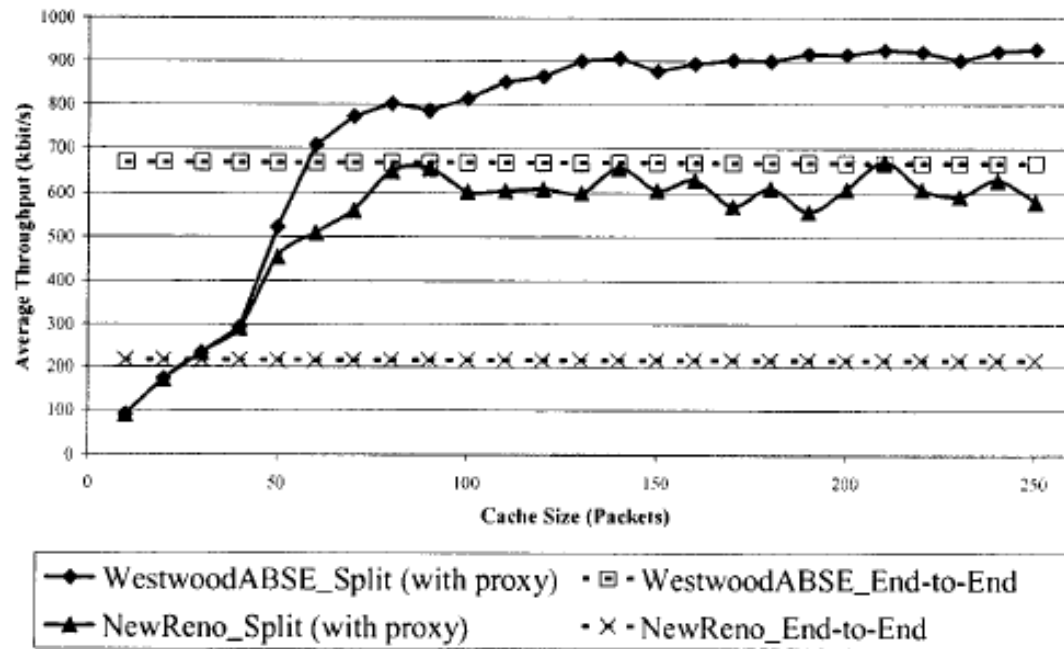
- ◆ U slučaju bez deljenja veze, greške u prenosu jako utiču na TCP performansu: prozor se povećava u malom periodu, pre nego ga bežični gubitak ne prepolovi.
- ◆ Deljenje veze u čvoru T skriva česte greške na deonici od W do T, tako što T čuva dovoljno paketa da iskoristi pouzdaniji deo veze T-G.
- ◆ Dodatno deljenje u S polovi vreme potvrđivanja od G do T, deleći ga na ciklus od S do T i od G do S.

Prosečno vreme potrebno da se prenese datoteka od 5M bajta od W do G



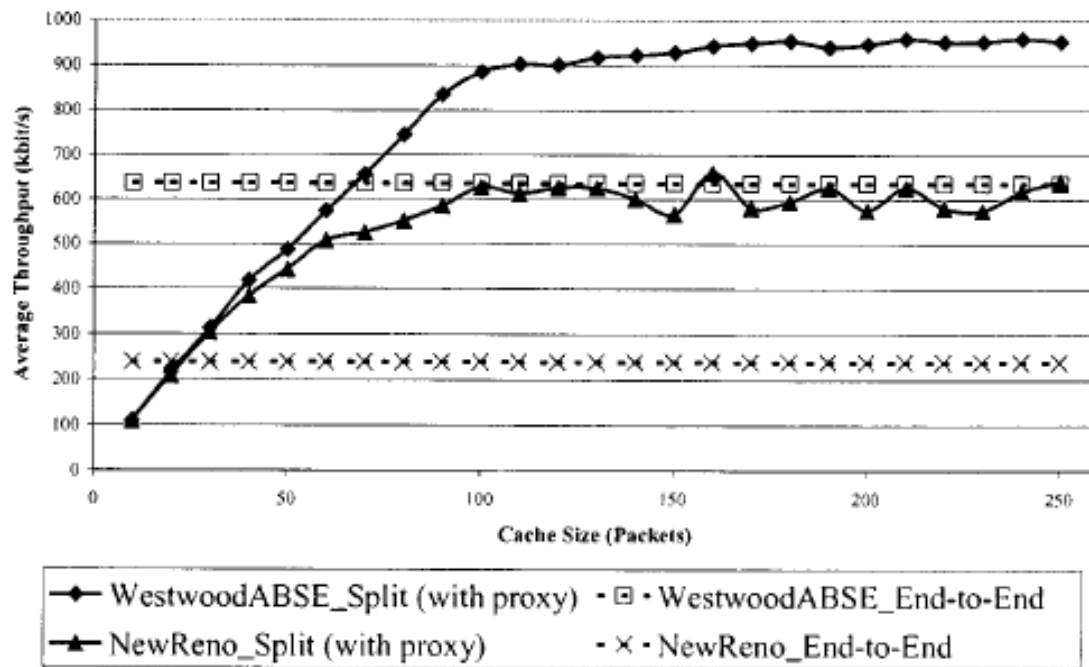
- ◆ Korišćenje kraćih segmenata TCP veze ubrzava rast prozora i stvara fenomen protočne obrade, koji povećava ukupnu propusnost mreže.
- ◆ Vidi se da TCPNR ima najviše koristi od deljenja TCP veze i kod dvostruke podele ostvaruje 91% kapaciteta i time se izjednačava sa TCPW.

Optimizacija veličine bafera (keš) kod zastupnika u čvoru T (vozilo), za 1% PER



- ◆ Posmatra se smer W-G.
- ◆ Uočava se strm pad performanse za veličine bafera ispod vrednosti dvostrukog kapaciteta kanala (84 paketa).
- ◆ U stvari, dvostruka veličina protočne strukture (84 paketa) je donja granica veličine bafera (keša), dok veće vrednosti mogu pomoći u boljem iskorišćenju raspoloživog propusnog opsega.

Optimizacija veličine bafera zastupnika u čvoru T za smer prenosa od G ka W



◆ Kao što je i očekivano, rezultati su skoro identični kao za suprotan smer (od W ka G), vidi prethodni slajd.

Zaključci o primeni TCPW i deljenja TCP veza preko HAP i satelita

- ◆ Obezbeđivanje širokopojasnih usluga bez sniženja performanse zahteva dobro balansiranu arhitekturu kombinovanu sa efikasnim protokolima.
- ◆ Rezultati pokazuju korisnost TCPW u okruženjima sa velikom stopom grešaka.
- ◆ Dalja poboljšanja se dobijaju jednostrukom (vozilo), odnosno dvostrukom podelom TCP veze (i satelit).
- ◆ Prema očekivanju TCPNR-u najviše koristi podela TCP veze, tako da on čak dostiže po performansi TCPW prilikom dvostruke podele TCP veze.