

UTICAJ TRANSPORTNIH PROTOKOLA NA EFIKASNOST NAMENSKIH RADIO-KOMUNIKACIJA

Ljubiša S. Nedeljković
Beograd

DOI: 10.5937/vojtehg62-3955

OBLAST: telekomunikacije
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

Savremene namenske radio-komunikacije zasnivaju se na internet protokolu. Efikasnost namenskih radio-komunikacija zavisi od propusnosti. Na propusnost namenskih radio-komunikacija utiču i transportni protokoli. U radu je analizirana propusnost transportnih protokola TCP (Transport Control Protocol) i UDP (User Datagram Protocol) u VF (visoko frekvencijskim) i VVF (vrlo visoko- frekvencijskim) namenskim radio-komunikacijama sa očekivanim vremenima kašnjenja i verovatnoćom greške po paketu podataka. Ocenjena je mogućnost njihove primene u namenskim radio-komunikacijama. Pri tome je uzet u obzir uticaj sledećih faktora: vreme povratnog puta, veličina paketa podataka, veličina prozora i verovatnoća greške po paketu podataka. Transportni protokol sa većom propusnošću pogodniji je za primenu u namenskim radio-komunikacijama. Veća propusnost transportnih protokola znači da je veća i propusnost namenskih radio-komunikacija.

Ključne reči: vreme povratnog puta, UDP protokol, TCP protokol, verovatnoća greške po bitu, propusnost, radio-komunikacije.

Uvod

Savremene namenske radio-mreže (RMr) zasnivaju se na internet protokolu, tako da vojne taktičke radio-mreže (TRMr) mogu da budu deo KIS-a (komandno-informacionog sistema) ili taktičkog interneta u zemljama zapadne alijanse.

Radio-komunikacije za vojne potrebe karakteriše velika verovatnoća greške po bitu do 10^{-3} čak i do 10^{-2} . Radio-komunikacije se odvijaju u prisustvu smetnji sa varijacijom jačine primanog signala. One koriste kanale uskog opsega učestanosti sa semidupleksnim režimom rada (na jednoj učestanosti naizmenično se otpravljaju i primaju podaci). To su neki od najuticajnijih faktora koji nepovoljno deluju na propusnost namenskih radio-komunikacija (Nedeljković, 2004).

Efikasnost radio-komunikacija posmatraćemo kao meru sposobnosti radio-komunikacija za izvršenje funkcije, koja u najvećoj meri zavisi od propusnosti radio-komunikacija. Na propusnost radio-komunikacija imaju uticaj protokoli na transportnom sloju. Transportni protokoli obezbeđuju usluge koje se odnose na vezu i tok podataka. Oni treba da omoguće efikasan prenos podataka preko namenske radio-mreže (Tanenbaum, 2005).

Kao transportni protokoli u taktičkim radio-komunikacijama mogu se koristiti TCP i UDP protokoli. Razmatraćemo njihove performanse sa stanovišta efikasnosti njihove primene u namenskim radio-komunikacijama. Analiziraćemo uticaj vremena povratnog puta (*Round Trip Time, RTT*), (Daglas, 2001) na propusnost transportnih protokola, verovatnoće greške po paketu ili bitu podataka, veličine prozora i veličine paketa podataka. Kriterijum za ocenu pogodnosti protokola biće propusnost protokola.

Propusnost TCP protokola

TCP protokol je konekciono orijentisani protokol i primenjuje šemu zaštite transmisije koja se zasniva na prijemu potvrđivanja entiteta. Pri svakom prijemu podataka TCP šalje otpremnoj strani potvrdu prijema ili da paket nije primljen. Nakon toga šalje se sledeći paket podataka. To praktično znači da u semidupleksnim radio-komunikacijama posle transmisije podataka stanica koja je otpremala prelazi na prijem, a stanica koja je primala prelazi na predaju. Svaki prelazak sa predaje na prijem i obratno unosi kašnjenje. Ono koje se javlja od momenta slanja potvrde prijema do prijema sledećeg paketa podataka naziva se vreme povratnog puta – RTT. To vreme u VF radio-komunikacijama može imati značajne vrednosti. U VVF radio-komunikacijama RTT je manje.

Kako je TCP konekciono orijentisani protokol, mora postojati konekcija prema odgovarajućem portu. Vreme povratnog puta, RTT kao i veličina prozora, utiču na propusnost TCP-a. Ova zavisnost može se odrediti preko proizvoda kašnjenje – propusni opseg.

Propusnost TCP paketa može se izračunati pomoću relacije (Chen, et al, 2004):

$$R = \frac{MSS}{RTT} \text{ b/s} \quad (1)$$

gde je:

MSS – maksimalna veličina segmenta koji se šalje u bitima, RTT je vreme povratnog puta u sekundama.

Razmatraćemo gornje granice propusnosti TCP za različite veličine prozora, a očekivane vrednosti vremena povratnog puta menjaju se prema podacima iz tabele 1. Izračunate su vrednosti propusnosti za različite

veličine prozora u zavisnosti od RTT (pretpostavljeno je da nema greška u prenosu). Vrednosti za RTT u tabeli 1 očekivane su vrednosti kašnjenja u namenskoj radio-mreži i uzete su na osnovu rezultata merenja kašnjenja u namenskoj radio-mreži. Kao najviša vrednost kašnjenja uzeto je da je 9 s s tim da može biti i veće. Razmatraćemo slučajeve za različite vrednosti prozora od 128 B (bajta) do 1024 B (bajta). Primenom relacije (1) dobijene su vrednosti za propusnost TCP protokola u TRMr.

Tabela 1 – Podaci za gornje granice vrednosti propusnosti TCP protokola u zavisnosti od vremena povratnog puta za različite veličine prozora

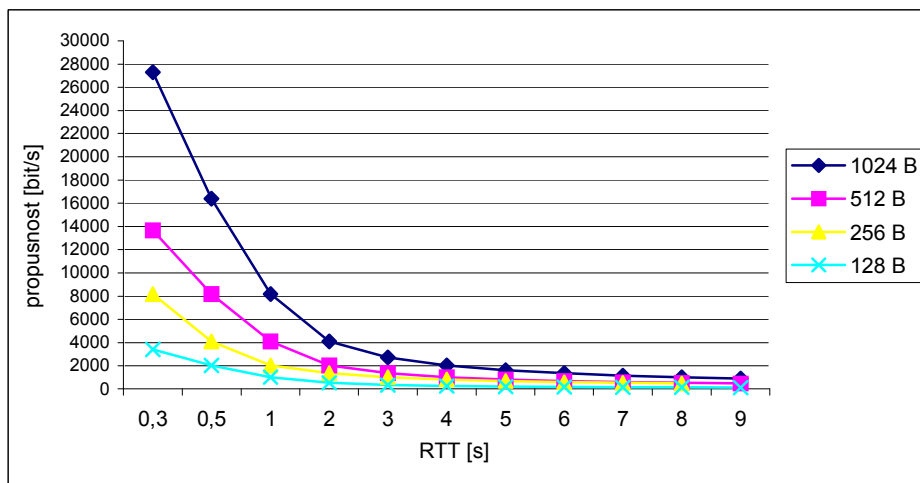
Table 1 – The upper limit values for the TCP protocol versus the round trip time for various window sizes

WS ¹ [B]	1024	512	256	128
propusnost RTT[s]	[b/s]	[b/s]	[b/s]	[b/s]
0,3	27306,66	13653,33	6826,66	3413,33
0,5	16384,00	8192,00	4096,00	2048,00
1	8192,00	4096,00	2048,00	1024,00
2	4096,00	2048,00	1024,00	512,00
3	2730,64	1365,28	682,64	341,28
4	2048,00	1024,00	512,00	256,00
5	1633,60	819,20	409,60	204,80
6	1364,80	682,64	341,28	170,64
7	1170,24	585,12	292,56	146,24
8	1024,00	512,00	256,00	128,00
9	910,16	455,04	227,52	113,76

Na grafikonu na slici 1 prikazana je zavisnost propusnosti TCP od vremena povratnog puta za različite veličine paketa podataka. Na grafikonima se može uočiti da se sa povećanjem RTT propusnost TCP protokola preko radio-kanala znatno smanjuje, a time i brzina prenosa podataka. Za vrednost RTT od 8 s već se dobija propusnost manja ili jednaka 1024 b/s, i to samo za veličinu paketa od 1024 bajta. Ukoliko su paketi podataka manji onda se i propusnost smanjuje. Tako je propusnost TCP za paket od 512 B 3,5 puta veća od propusnosti za paket od 128 B pri RTT=0,3 s. Za RTT manje od 1 s propusnost je sasvim zadovoljavajuća. Za donju granicu RTT stavljena je vrednost 0,3s kada je propusnost najveća. Treba napomenuti da verovatnoća greške po bloku od 0,64 odgovara verovatnoći greške po bitu $P_b=10^{-3}$, dok $P_{pk} = 0,001$ odgovara $P_b = 10^{-6}$. Može se očekivati da se vrednosti za kašnjenje RTT u VF radio-komuni-

¹ WS – window size, veličina prozora.

kacijama kreću u granicama do 9 sekundi. U stvarnosti se u radio-komunikacijama mogu pojaviti i veće vrednosti kašnjenja, RTT, što će se neminovno odraziti na smanjenje propusnosti TCP preko radio-kanala. Takođe, uočava se da se smanjenjem veličine prozora smanjuje i propusnost TCP protokola, tako da je najveća propusnost za veličinu prozora WS=1024 B, a najmanja za WS=128 B. Za vrednosti RTT manje od jedne sekunde dobijaju se veće vrednosti propusnosti. U VVF radio-komunikacijama očekuju se manje vrednosti RTT, manje od 1 s, te će i propusnost biti veća. Da bi se povećala propusnost radio-sistema neophodan je veći prozor i da vreme povratnog puta ima male vrednosti.



Slika 1 – Prikaz zavisnosti propusnosti TCP od vremena povratnog puta, RTT
Figure 1 – Presentation of the dependence of the throughput of the TCP versus the round trip time, RTT

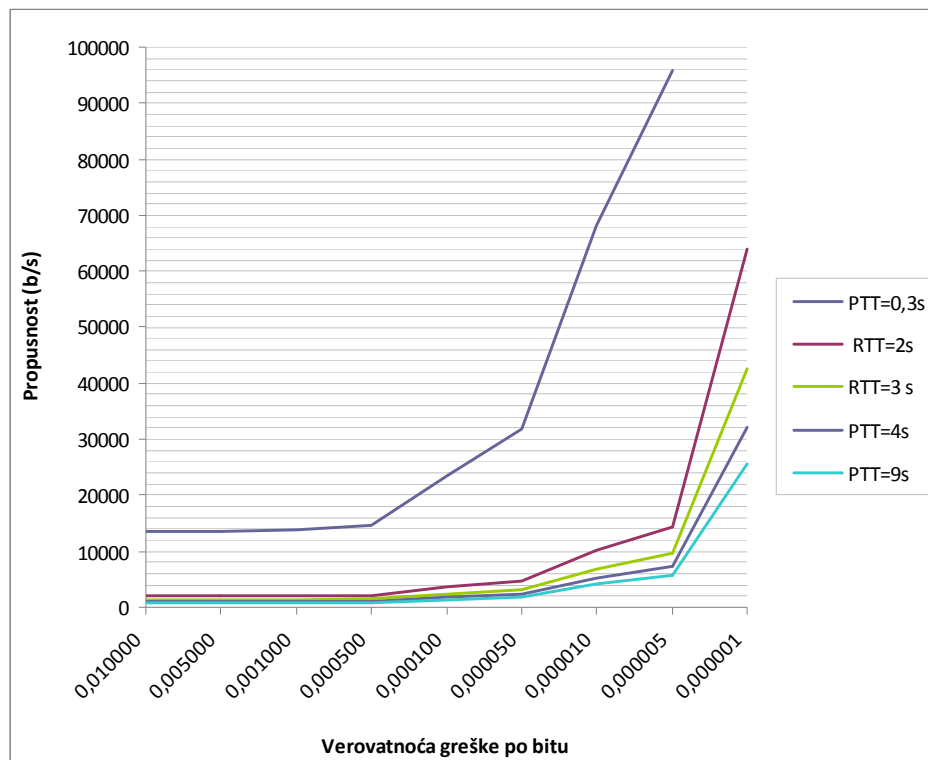
Sledeća analiza odnosi se na situaciju kada se u toku prenosa podataka na paketima javljaju greške. Tada se TCP propusnost redukuje i gornja granica propusnosti može se izračunati preko relacije (Mathis et al, 1997):

$$R = \frac{MSS}{RTT} \frac{1,22}{\sqrt{P_{pk}}}, \quad (2)$$

gde je P_{pk} verovatnoća greške po bloku.

Grafikoni na slici 2 opisuju TCP propusnost u zavisnosti od verovatnoće greške po bitu (*bit error rate, BER*) za različite vrednosti RTT. Na grafikonu na slici 2 može se videti da pri povećanju verovatnoće greške po paketu podataka opada propusnost TCP protokola, tako za verovatnoću od 0,98, što odgovara $BER=10^{-3}$, propusnost znatno opada, pa se pouzdano može kon-

statovati da verovatnoća greške po bitu podataka veće od 10^{-3} nisu prihvatljive za radio-komunikacije za prenos podataka, gde se koristi TCP protokol koji gubitak paketa tretira kao zagušenje nastalo tokom prenosa podataka.



Slika 2 – Zavisnost propusnosti TCP od verovatnoće greške po bitu
Figure 2 – TCP throughput versus the packet error rate

Propusnost UDP protokola

UDP protokol ne zavisi od RTT zbog njegovog svojstva da se podaci prenose bez konekcije i bez potvrđivanja prijema podataka od učesnika u vezi. Svaki korisnički datagram, koji je poslao UDP, tretira se kao nezavisni datagram. Korisnički datagrami nisu numerisani, a pošto do odredišta mogu stići izvan redosleda UDP nije u mogućnosti da rekonstruiše njihov prvobitni redosled. Svaka poruka koju proces šalje mora biti dovoljno kratka da može stati u jedan UDP datagram. UDP protokol ne garantuje kvalitet prijema i radi bez korekcije grešaka (tipa ARQ), pa je najpogodnije koristiti korekciju unapred (*Forward error corection*, FEC). On ne dovo-

di u vezu vreme RTT i propusnost podataka, tako da je propusnost UDP protokola veća od propusnosti TCP protokola, a to je od najvećeg značaja za namenske radio-komunikacije (Daglas, 2001).

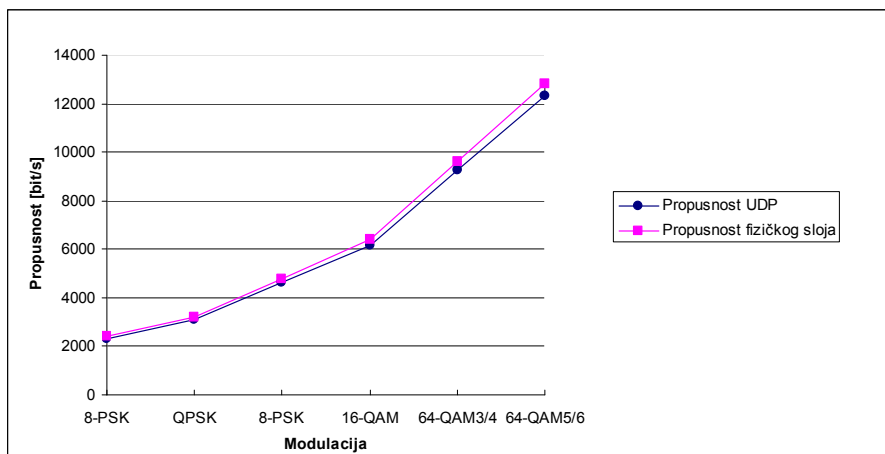
Na propusnost UDP protokola utiču vrsta primenjene modulacije i zaštitnog koda, kao i količine dodatnih bita. Svaki UDP datagram sadrži 28 dodatnih bajtova, koje sačinjavaju zaglavlje UDP protokola od 8 bajtova, plus 20 bajtova od IPv4 (Internet Protocol verzija 4). Pri porastu reda QAM (*quadrature amplitude modulation*) modulacije i sa porastom kodne brzine FEC, postoji linearni porast propusnosti. Takođe, ne može se zanemariti ni smanjenje brzine UDP protokola u odnosu na referentnu brzinu koja nastaje zbog dodatnih bita MAC (*Media Access Control*) protokola i sloja veze (Johnson, et al, 2003).

Tabela 2 – Uticaj primenjene modulacije i zaštitnog kodovanja na propusnost UDP protokola
Table 2 – Impact of the modulation type and the error corection code on the UDP protocol throughput

Modulacija	Kodni količnik	Korisnička brzina podataka (b/s)	Propusnost UDP protokola
64-QAM	1	12800	12326,4
64-QAM	3/4	9600	9244,8
16-QAM	3/4	6400	6163,2
8-PSK	3/4	4800	4622,4
QPSK	3/4	3200	3081,6
8-PSK	2/3	2400	2311,2

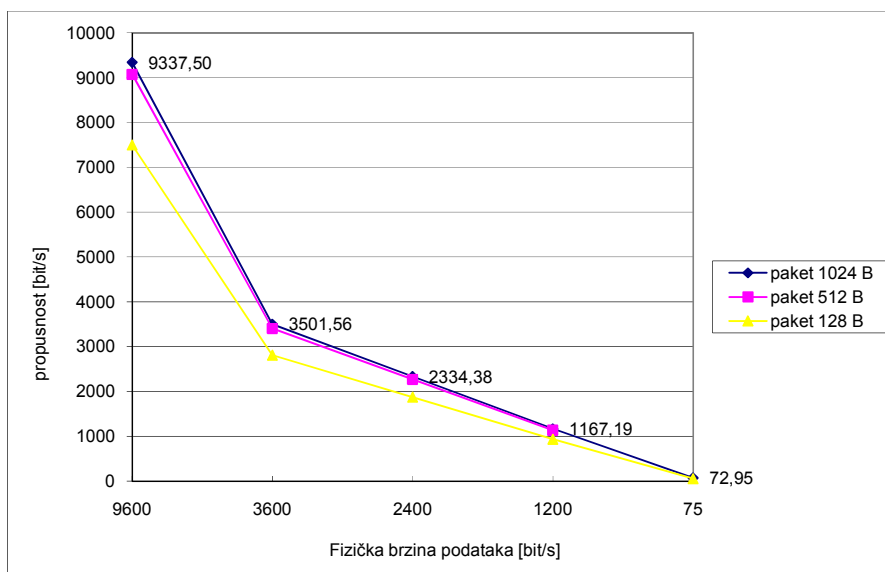
Propusnost UDP protokola računata je sa dodatnim bitima IP i UDP i aproksimativno je manja od propusnosti fizičkog sloja za onoliko procenata koliko je učešće dodatnih bita u podacima. Ako se pri tome uzmu u obzir i dodatni biti MAC protokola, odnosno protokola sloja veze, propusnost će biti manja. Primera radi, zaglavlje MAC protokola WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) bežične komunikacije iznosi 6 B i nema značajan uticaj na propusnost sistema. Međutim, dodatni biti zaglavlja STANAG 5066 mogu zauzeti od 22% za veće pakete, do 60% za manje pakete podataka.

Na grafikonima na sl. 3 može se uočiti da sa porastom reda QAM i porastom kodne brzine FEC raste propusnost UDP protokola. Takođe je zanemarljivo smanjenje brzine UDP u odnosu na referentnu brzinu, što se javlja zbog uticaja MAC i IP. Uočava se da postoji nezatna razlika u propusnosti fizičkog sloja i UDP protokola. Može se očekivati da se u radio-komunikacijama primenjuju snažniji zaštitni kodovi na kanalima sa većim šumom kako bi se eliminsale greške nastale tokom prenosa podataka. UDP protokol obezbeđuje veću propusnost preko radio-komunikacija od TCP protokola, pogotovo u slučajevima kada vreme RTT uzima veće vrednosti. Primenom pogodnih oblika zaštitnog kodovanja i dužine bloka podataka sa UDP protokolom moguće je ostvariti efikasan prenos podataka preko namenskih radio-komunikacija.



Slika 3 – Grafički prikaz propusnosti UDP protokola i fizičkog sloja u zavisnosti od vrste modulacije

Figure 3 – UDP protocol and physical layer throughput versus a type of modulation



Slika 4 – Propusnost UDP protokola za različite brzine prenosa i veličine paketa podataka

Figure 4 – UDP protocol throughput for different transmission rates and packet sizes

Na slici 4 prikazana je zavisnost propusnosti UDP protokola od veličine paketa podataka za različite brzine prenosa podataka. Može se zaključiti da ukoliko se IP/UDP protokol koristi sa paketima različite veličine i brzine prenosa, onda propusnost opada sa opadanjem veličine paketa,

što je izraženije na višim brzinama prenosa. Kako veći paketi podataka imaju veću verovatnoću pojavljivanja grešaka, to se preporučuje zaštitno kodovanje radi povećanja pouzdanosti prenosa podataka.

Tabela 4 – Propusnost UDP protokola sa STANAG 5066
Table 4 – UDP protocol throughput with STANAG 5066

linijska brzina	PDU veličina	propusnost (b/sec)	ukupno dodatnih bitova	IP/UDP dodatnih bitova	S5066 dodatnih bitova
9600	2048	7330	24%	1%	23%
9600	1500	5859	39%	2%	37%
9600	1024	6639	31%	3%	28%
9600	512	3898	59%	5%	54%
9600	256	2016	79%	10%	69%
9600	128	1010	89%	17%	72%
9600	64	506	95%	30%	65%
1200	2048	1027	14%	1%	13%
1200	1024	966	20%	3%	17%
1200	512	900	25%	5%	20%
1200	256	896	25%	10%	15%
1200	128	766	36%	18%	18%
1200	64	483	60%	31%	29%

Podaci u tabeli 4 ukazuju koliko dodatnih bita unosi protokol sloja veze STANAG 5066 kada se koristi UDP protokol za različite brzine prenosa i za različite veličine jedinice podataka. Podaci ukazuju na to da je na srednjim i manjim brzinama količina dodatnih bita STANAG 5066 značajna. Tako je propusnost najveća sa većim jedinicama podataka, dok se ona smanjuje sa smanjenjem veličine jedinice podataka pri brzinama od 9600 i 1200 b/s (STANAG 5066).

Komparacija performansi TCP i UDP protokola u TRMr

Rezultati analize transportnih protokola ukazuju na to da TCP može uspešno funkcionisati ako je BER manji od 10^{-5} , što se u praksi ne može uvek ostvariti. TCP će veoma otežano funkcionisati ako je BER $>10^{-3}$. On je osetljiv na prisustvo smetnji i šumova u primljenom signalu, što dovodi do nepotrebnog smanjenja brzine prenosa i ponavljanja paketa podataka. U VVF komunikacijama vreme kašnjenja je malo, nekoliko desetina milisekunde, odnosno manje od jedne sekunde. U VF radio-komunikacijama kašnjenje može biti znatno veće i preko 10 s. Ukoliko je RTT manje od 0,3 s, uticaj na propusnost biće znatno manji.

Interliver u terminalnim uređajima unosi kašnjenje, npr. dugi interliver od 4,8 s (STANAG 5066) koji u VF radio-komunikacijama unosi RTT od 43 s, (MIL-STD-188-141B) što znatno utiče na smanjenje propusnosti podataka. Da bi se omogućilo normalno funkcionisanje aplikacija, odnosno transportnih protokola u radio-podmreži, potrebno je koristiti klijente koje obezbeđuje protokol sloja veze. Klijenti obavljaju zadatke TCP protokola u radio-podmreži i omogućuju rad aplikacijama, te može da se ostvari propusnost veća za 20 do 30% od propusnosti TCP protokola. Performanse TCP protokola pokazuju slabosti kada su u pitanju brzine kompletiranja poruka, veliko kašnjenje i problemi u konekciji učesnika. TCP protokol ne podržava višestruko i difuzni prenos podataka. Neophodno je postaviti optimalne vrednosti parametara TCP protokola, posebno početni period retransmisije. Za propusnost je važna i količina dodatnih bita (*overhead*). Veličina zaglavlja TCP/IP (za IP v4) jeste reda 40 bajta (Daglas, 2001), što smanjuje efikasnost prenosa, jer su to dodatni biti datagrama koji u znatnoj meri zauzimaju resurse kanala. Kompresijom zaglavlja TCP/IP se umesto zaglavlja od 40 bajta koristi komprimovano zaglavlje sa samo 4 bajta, pa se time povećava efikasnost protokola. Dokumenti RFC 2507 i 2508 definišu kompresiju zaglavlja za TCP/IP i UDP protokole.

Na propusnost UDP protokola najveći uticaj imaju dodatni biti u zaglavlju i biti MAC sloja, kao i redundantni biti za korekciju grešaka. Takođe, uticaj ima i primenjeni modulacioni postupak. Primena tehnika za korekciju grešaka ima efekte poboljšanja odnosa signal–šum od nekoliko decibela. S tog stanovišta moguć je prijem i pri verovatnoći greške po bitu od 10^{-3} . Iako zaštitno kodovanje smanjuje propusnost podataka u radio-komunikacijama, ono je veoma značajno sa stanovišta pouzdanosti prenosa podataka, jer omogućuje prenos podataka do aplikacija bez grešaka. UDP protokol sadrži manju količinu dodatnih bita od TCP protokola, zaglavlje 8 B i IP 20 B. Sa stanovišta brzine prenosa poruka između korisnika namenskih radio-komunikacija UDP protokol pruža bolje performanse od TCP protokola. Ukoliko postoji potreba za korekcijom grešaka onda se ovaj problem može rešiti zaštitnim kodovanjem sa nekim odgovarajućim zaštitnim kodom. Time se omogućuje prenos podataka i u uslovima kada verovatnoća greške po bitu iznosi i 10^{-3} .

Zaključak

U radu su prikazani rezultati istraživanja uticaja TCP i UDP protokola na efikasnost namenskih radio-komunikacija, kao i mogućnosti njihove primene u namenskim radio-komunikacijama. Namenske radio-komunikacije unose značajno vreme kašnjenja u toku transmisije podataka, a

zbog delovanja šumova i smetnji znatan deo podataka na prijemnoj strani može biti oštećen. U analizi propusnosti TCP protokola pokazalo se da je on osetljiv na kašnjenje i da njegova propusnost opada sa porastom vremena povratnog puta, RTT. Kako propusnost TCP-a zavisi i od verovatnoće grešaka po paketu (bitu) podataka, to je definisana granica vrednosti verovatnoće greške po bitu za koje TCP može još uvek uspešno funkcionisati, kao i vrednosti za normalno funkcionisanje TCP. Kako se u radio-komunikacijama, posebno u VF radio-komunikacijama, može očekivati veće kašnjenje i veće verovatnoće grešaka po paketu podataka, to se sa TCP protokolom u takvim uslovima ne može ostvariti veća propusnost, te će i propusnost radio-komunikacija biti mala. Zaključujemo da je za TCP protokol neophodan radio-kanal sa malim postotkom grešaka u prenosu i malim kašnjenjem RTT, što se u namenskim radio-komunikacijama ne može očekivati.

UDP protokol nije zavisn od RTT, zato što je to protokol bez konekcije i bez potvrđivanja prijema. Greške koje nastaju u toku prenosa podataka mogu se korigovati zaštitnim kodovanjem, kao što su konvolucionni ili blok kodovi. UDP protokolom ostvaruje se veća propusnost i manje kašnjenje podataka u odnosu na TCP protokol. Sa UDP protokolom ostvaruje se veća propusnost namenskih radio-komunikacija.

Literatura

Chen, K., Xue, Y., Shah, S., & Nahrstedt, K. 2004. Understanding bandwidth-delay product in mobile ad hoc networks. U Computer Communications. Department of Computer Science, University of Illinois.

Daglas, C. 2001. Povezivanje mreža TCP/IP principi, protokoli i arhitektura. Beograd: CET. prevod IV izdanja.

Johnson, E., Balakrishnan, M., & Tang, Z. 2003. Impact of turnaround time on wireless MAC protocols. U: Military Communications Conference, MILCOM '03. IEEE.

Mathis, M., Semke, J., & Mahdavi, J.J. 1997. The Macroscopic Behavior of the TCP Congestion Avoidance Algorithm. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 5, str. 27.

MIL-STD-188-141B, Interoperability and Performance Standards for Medium and High Frequency Radio Systems (2013) Preuzeto sa http://www.fhlink.com/standards/ALE/ALE_standard_188_141B.pdf 2013 Feb 13.

Nedeljković, L. 2004. "Adaptivni i automatski VF radio-komunikacioni sistem",. Vojnotehnički glasnik, 52(2)(2), str. 182-193. Preuzeto sa <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0042-84690402182N>

STANAG 5066, V 1.2, NATO Standardization Agreement: Profile for Maritime High Frequency (HF) Radio Data Communications (2013) Preuzeto sa <http://www.everyspec.com> 2013 Feb 12.

Tanebaum, S. 2005. Računarske mreže, 4th. Mikro knjiga.

IMPACT OF TRANSPORT LAYER PROTOCOLS ON THE EFFICIENCY OF SPECIAL PURPOSE RADIO-COMMUNICATIONS

Col *Ljubiša S. Nedeljković*, (ret)
Belgrade

FIELD: Telecommunications
ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary:

The efficiency of special purpose radio-communications depends on transport layer protocols. Many factors have an impact on special purpose radio-communications efficiency, as well as TCP and UDP protocols. This paper presents the transport protocols throughput analysis in the HF and VHF radio-communications versus RTT and packet error rate probability. This paper considers a possibility of the application of TCP and UDP protocols in special purpose radio-communications. The following factors will be considered: RTT, Round Trip Time, data packet size, window size and bit error rate. It can be seen from the analysis which transport protocol is the most suitable for special purpose radio-networks.

TCP throughput

The TCP is a connection-oriented protocol with a capability of retransmissions and acknowledgement. The TCP protocol throughput versus Round Trip Time and windows size has been considered. The TCP throughput depends on RTT - when the RTT increases, then the throughput decreases. The RTT has a value up to 9 s. Then the article considers the TCP throughput versus the packet error rate, where for a maximum bit error rate of 10^{-3} the TCP throughput is very bad. The BER values of more than 10^{-3} are not appropriate for the TCP, since the throughput is then very small.

UDP throughput

The UDP is the other transport layer services alternative. The UDP is a connectionless protocol with error detection. The UDP throughput depends on overhead bits and the type of modulation. The UDP has fewer overhead (nondata) bits than the TCP, header 8 B and IP header 20 B. The UDP throughput is close to the equal transmission rate of the physical layer.

Performance comparison between the TCP and the UDP in the tactical radio-network

TCPs are successful when the BER is from 10^{-5} to 10^{-6} . If the RTT is longer than 10^{-3} , the TCP will be difficult to operate. A delay in the HF and VHF radio-communications may be long and the TCP

throughput is very slow. When the RTT is shorter than 0.3 s, the TCP throughput is good. If the RTT increases beyond 1s, the TCP throughput rapidly decreases.

The UDP is a connectionless protocol, without acknowledgement. The UDP protocol is independent of the RTT due to its connection-less behavior, i.e. due to the abdication od reverse link acknowledgement signalling. The UDP throughput is approximately several percent less than the physical throughput due to the overhead.

Conclusion

The TCP is not a suitable transport protocol for special purpose radio-communications with large amounts of bit-error rate and long RTT. Its throughput in that condition will be small. The performance of the UDP protocol in special purpose radio-communications is better than the performance of the TCP protocol. Its thughput is independent of the RTT due to its connection-less behavior. The UDP is suitable for the transport protocol for special purpose radio-communications.

Key words: round trip time; UDP protocol; TCP protocol; bit error rate; throughput; radio communication.

Datum prijema članka/Paper received on: 30. 05. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 03. 11. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 05. 11. 2013.