

# OPTIMÁLNE PRIDEĽOVANIE SIEŤOVÝCH ZDROJOV PRE INTERNETOVÉ SLUŽBY

## IP NETWORK MANAGEMENT OF SOURCES FOR IP TRAFFICS

**Juraj Smieško**

**Abstract:** *This article presents one part of Internet Protocol Network Management of sources. It deals with the optimal assigning of the link capacity for IP traffics. Parameters Quality of Service, must be complied. We use Effective Bandwidth of input flow to determine needed capacity. We will show the advantages of Effective Bandwidth compared to Queueing Theory in design of well-known model M/D/1. Finally we will show how we have used this method for the design of Triple traffic in core node in terms of the project for Slovak provider T-COM.*

**Keywords:** *IP Network Management, Probability of Lost Packet, Maximum Delay, Effective Bandwidth, Large Deviation Principles, Capacity of Link, Quality of Service.*

**JEL Classification:** *C65, C67, L96.*

### Úvod

V súčasnosti sa stal internet neoddeliteľnou súčasťou nášho života. Počet domácností s prístupom na internet sa stále zvyšuje, čo má za následok veľkú prevádzku. Internet už dávno nie je len miestom na vyhľadávanie informácií, služby ako internetová televízia (Internet Protocol Television IPTV) či telefonovanie cez internet (Voice over Internet Portocol VoIP) nám poskytujú možnosť sledovania obľúbených televíznych programov alebo telefonovania. Samozrejme zákazníci využívajúci podobné služby požadujú určitú kvalitu. Preto je veľmi dôležité zabezpečiť spokojnosť zákazníkov a zároveň poskytnúť požadovanú kvalitu s čo najnižšími nákladmi. Doteraz sa nárast zákazníkov a zväčšenie objemu prenášaných služieb riešil inštalovaním výkonnejšieho hardwarového zabezpečenia. Avšak v súčasnosti sa významné zväčšovanie kapacity chrbticovej siete stáva finančne náročnejšie, čo sa môže negatívne odraziť v koncových cenách pre zákazníkov. Preto v postupe vzniká potreba optimálne pridelovať už existujúce prevádzkové zdroje jednotlivým sieťovým službám tak, aby bola garantovaná istá kvalita prenosu (Quality of Service QoS).

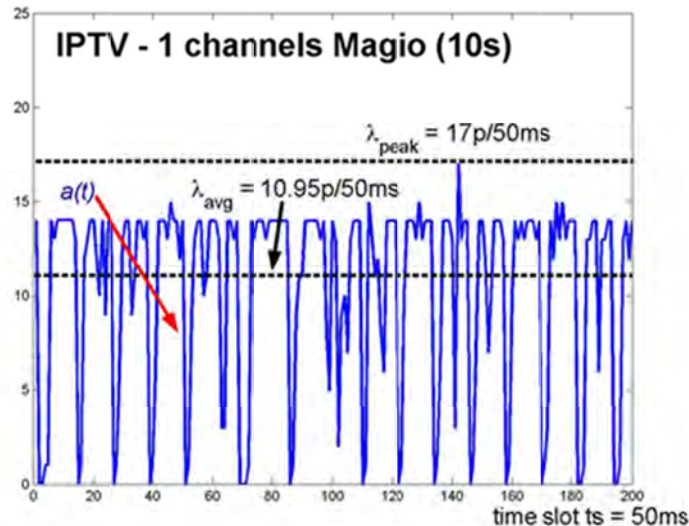
Z matematického hľadiska môžeme IP službu popísať pomocou náhodného procesu  $A(r,s)$ , ktorý predstavuje kumulatívny počet výskytov udalostí (paketov) v intervale  $(r,s)$ . V prípade, že uvažovaný tok je stacionárny, tzn. jeho pravdepodobnostné charakteristiky sa v čase nemenia, stačí uvažovať len o počiatočnom intervale  $(0,t)$ . Stacionárny vstupný proces  $A(t)$  potom popisuje počet výskytu udalostí (paketov) v ľubovoľnom intervale dĺžky  $t$ .

Ak predpokladáme diskretný čas, vstupný proces  $A(t)$  sa skladá z tzv. prírastkov v čase (“increments”)  $a(i)$ , ktoré predstavujú počet výskytov paketov v  $i$ -tom časovom slotte  $ts$  (“time slot”). Platí :  $A(t) = \sum_{i=0}^t a(i)$ , a naopak  $a(t) = A(t) - A(t - 1)$ .

Pri popise IP tokov existujú dva základné parametre, priemerná intenzita  $\lambda_{avg}$  (*average rate*) a špičková intenzita  $\lambda_{peak}$  (*peak rate*). V prípade, že máme k dispozícii meranie o dĺžke  $N$ , parametre odhadneme nasledovne:

$$\lambda_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a(i) = \frac{A(N)}{N}, \quad \lambda_{peak} = \max_{0 \leq t \leq N} [a(t)]$$

**Obr. 1: Prírastky  $a(t)$  toku IPTV, 1kanál Mágio, časový slot 50ms**



Zdroj: [5]

Na Obr. 1 je ukážka 10 sekundového záznamu jedného kanálu IPTV Mágio. Ak by sme v chrbticovom uzle tejto služby prideliť špičkovú kapacitu 17 p/50ms, služba by bola prenesená bez oneskorenia a straty paketov. Avšak toto riešenie je finančne náročné a dochádza k zbytočnému mrhaniu kapacitou linky, keďže k špičkovej záťaži dochádza s pravdepodobnosťou  $5 \times 10^{-3}$ . Opačný extrém je prideliť službe kapacitu o veľkosti jej strednej intenzity, 10.95 p/50ms. V takomto prípade prenesieme službu sieťou v konečnom čase, ale nemáme žiadnu predstavu o vzniknutých oneskoreniach a stratách paketov, ktoré výrazne môžu zhoršiť kvalitu poskytovanej služby QoS a v konečnom dôsledku spôsobiť stratu zákazníkov.

Pri optimálnom pridelovaní prostriedkov siete jednotlivým službám je úlohou určiť hodnotu medzi strednou a špičkovou intenzitou tak, aby boli garantované parametre QoS (Quality of Service), tzn. dodržané maximálne oneskorenie a neprekročená pravdepodobnosť straty, ktoré sú špecificky definované pre jednotlivé IP služby.

Ukážku sme vybrali zo sady rôznych 2 minútových meraní IPTV kanálov získaných z laboratória T-COMu: 6 kanálov, jeden kanál Markíza, monoskop a celková prevádzka. Kódovanie videa bolo H.264, bitrate 2Mbit/s. A-server použitý v platforme spracovával multicastový stream do transportného streamu pomocou RTP (Real-time Transport Protocol) a na prenos použil UDP (User Datagram Protocol).

Štandardne sa určovaním kapacity obslužných systémov zaoberá Teória hromadnej obsluhy, napr. [1]. Na základe vstupno-výstupných údajov sa zostaví systém algebraických rovníc pre určenie pravdepodobností stavov stabilizovaného systému. Keďže však hľadaná kapacita je jedným z parametrov týchto rovníc, musia sa použiť na nájdenie optimálneho riešenia komplikované iteračné algoritmy. V našom prípade bol relevantný frontový model

$M/D/1$ , ktorého riešenie pomocou Teórie hromadnej obsluhy si ukážeme v ďalších kapitolách.

Ďalším z nástrojov pre určenie optimálnej kapacity jednolinkových frontových systémov je použitie tzv. Efektívnej šírky pásma. Vo výskumnej správe [5] sme na riešenie použili obidve metódy, pričom do odporúčaní pre zadávateľa sme uviedli pesimistickejšie odhady kvôli zvýšeniu koeficientu bezpečnosti. Kvôli rôznym ohraničeniam veľkosti frontov pre rôzne služby sme aj v prípade použitia EB museli hľadať riešenie pomocou numerických metód.

V súčasnosti pri použití vysokorýchlostných sietí sa v podstate nepredpokladá pretečenie frontov na vstupno-výstupných portoch. To nám umožnilo nájsť čisto analytické riešenie problému určenia optimálnej kapacity pre danú službu. Pôvodné odporúčania vo výskumnej správe [5] podliehajú dohode o mlčanlivosti, avšak nové riešenie získané len analytickými metódami pôvodnému numerickému riešeniu odpovedá, resp. je o málo optimistickejšie. Uvádzame ho v poslednej kapitole.

## 1 Efektívna šírka pásma

Budeme sa zaoberať metódou, ktorá vyplýva priamo z Teórie veľkých odchýlok [2] (Large deviation principles) a používa pre popis vstupného toku tzv. Efektívnu šírku pásma (Effective Bandwidth). Výhodou metódy je, že pre dimenzovanie linky nie je potrebné zostavovať matematický model. Nevýhodou je, že metóda určuje horný odhad optimálnej kapacity, ktorý je však často blízke hodnotám získaných z modelu.

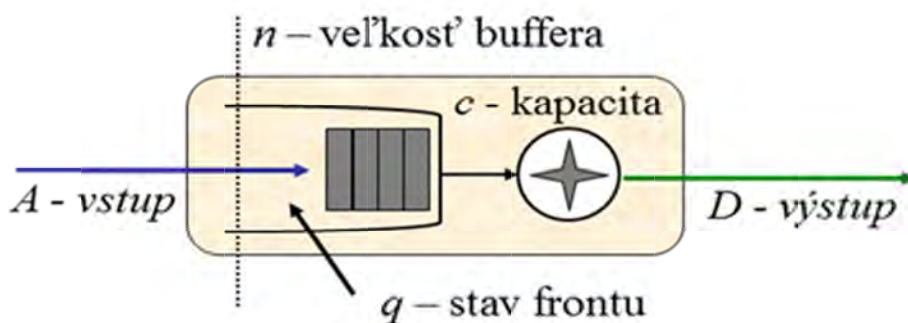
Efektívna šírka pásma pre ľubovoľný kumulatívny proces  $A(t)$  je definovaná v [3]

$$\alpha(\theta, t) = \frac{1}{\theta t} \sup_{s \geq 0} \ln E \left[ e^{\theta(A(s+t) - A(s))} \right] \quad 0 < \theta, t < \infty \quad (2)$$

Efektívna šírka pásma je závislá od tzv. rozmerového parametra (*space*)  $\theta$  a od časového parametra (*time*)  $t$ . Rozmerový parameter priamo súvisí s parametrami QoS, časový parameter určuje veľkosť časového okna, v ktorom je daný proces pozorovaný.

Prenosovú linku s vyrovnávacou pamäťou môžeme modelovať ako jednolinkový systém s frontom (Single Server Queue). Kapacita linky resp. rýchlosť spracovania paketov bude konštantná a označíme ju  $c$ . Nech náhodná premenná  $q$  popisuje stavy frontu v časovo stabilizovanom systéme. Rozdelenie pravdepodobnosti  $q$  označíme  $\pi_k = P(q = k)$ . Pravdepodobnosť straty paketu vo fronte označíme  $p_{lost} = P(q > n)$ , pričom hodnota  $n$  môže predstavovať reálnu veľkosť frontu resp. nejakú kritickú hodnotu, ktorej presiahnutie predstavuje „zahadzovanie“ paketov, pretože doba čakania vo fronte by predstavovala neakceptovateľné oneskorenie pre danú IP službu.

Obr. 2: Schéma jednolinkového systému s frontom (Single Server Queue)



Zdroj: [5]

Teória veľkých odchýlok (Theory of Large Deviation Principles) poskytuje formulu na dimenzovanie linky s ohľadom na pravdepodobnosť straty paketu, [2]:

$$\alpha(\theta, t) = c \Leftrightarrow P(q > n) \simeq e^{-\theta n} \quad \text{or} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln P(q > n)}{n} = -\theta \quad (3)$$

Uvedený vzťah (3) znamená, že ak danej službe pridáme kapacitu linky rovnú hodnote Efektívnej šírky pásma, potom pravdepodobnosť straty paketu zaniká exponenciálne s konštantou  $\theta$ .

Ak je vstupný proces  $A(t)$  **stacionárny** resp. má rovnako rozdelené prírastky  $a(t)$ , tvar Efektívnej šírky pásma sa zjednoduší:

$$\alpha(\theta, t) = \frac{1}{\theta t} \sup_{s \geq 0} \ln E \left[ e^{\theta(A(s+t) - A(s))} \right] = \frac{1}{\theta t} \ln E \left[ e^{\theta A(t)} \right] \quad (4)$$

Efektívna šírka pásma má veľa zaujímavých vlastností. Napríklad stredná intenzita procesu, asymptotická variancia, špičková intenzita a tzv. burst perióda (stredná doba, počas ktorej dosahuje proces špičkovú intenzitu) sú zahrnuté v Taylorovom rozvoji v  $\theta = 0$  a  $1/\theta = 0$ , [2]. Ďalej hodnota EB v  $\theta = 0$  je rovná strednej intenzite procesu:

$$\alpha(0, t) = \frac{E[A(t)]}{t} = \lambda_{avg}$$

Ak je proces  $A(t)$  **stacionárny** a má **ohraničené prírastky**,  $\forall t, a(t) \leq \lambda_{peak}$ , potom sa pomocou Jensenovej nerovnosti [2] dá jednoducho dokázať, že Efektívna šírka pásma leží medzi strednou intenzitou a špičkovou intenzitou procesu:

$$\lambda_{avg} \leq \alpha(\theta, t) \leq \lambda_{peak} \quad (5)$$

Nech je proces  $A(t)$  **stacionárny** a má **nezávislé prírastky** ( $a(t)$  sú rovnako rozdelené nezávislé náhodné premenné). Nech  $\varphi_a(\theta) = E[e^{\theta a(i)}]$  je momentová vytvárajúca funkcia (Moment Generation Function MGF) a  $\lambda_a(\theta) = \ln \varphi_a(\theta)$  je kumulatívna vytvárajúca funkcia (Cumulant Generation Function CGF) prírastkov. Efektívna šírka pásma má tvar:

$$\alpha(\theta, t) = \frac{1}{\theta t} \ln E \left[ e^{\theta \sum_{i=1}^t a(i)} \right] = \frac{1}{\theta t} \ln \varphi_a(\theta)^t = \frac{\lambda_a(\theta)}{\theta} \quad (6)$$

Efektívna šírka pásma stacionárneho náhodného procesu s nezávislými prírastkami nezávisí od časového parametra preto ju budeme značiť len  $\alpha(\theta)$ . Formula (3) pre dimenzovanie linky bude mať tvar:

$$\alpha(\theta) = \frac{\lambda_a(\theta)}{\theta} = c \quad \Leftrightarrow \quad P(q > n) \approx e^{-\theta n} \quad (7)$$

## 2 Model M/D/1

Použitie Efektívnej šírky pásma si ukážeme na dobre známom modeli M/D/1, ktorý predstavuje jednolinkový systém s Poissonovým vstupným tokom paketov s intenzitou  $\lambda$  a s konštantnou dobou vysielania  $c$ . Parameter  $\rho = \lambda/c$  nazveme zaťaženie systému. Analýza tohto modelu je dobre známa, pravdepodobnosti stavov stabilizovaného systému majú tvar, [1]:

$$\pi_0 = e^{-\rho} [\pi_0 + \pi_1], \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad \pi_k = e^{-\rho} \left[ [\pi_0 + \pi_1] \frac{\rho^k}{k!} + \sum_{i=1}^k \pi_{i+1} \frac{\rho^{k-i}}{(k-i)!} \right] \quad (8)$$

Pravdepodobnosť straty paketov  $p_{lost} = P(q > n)$  pre  $n = 3, 4$ , má tvar :

$$p_{lost} = 1 - [e^{2\rho} - \rho e^\rho] \pi_0 - \sum_{k=3}^n \left[ e^\rho \pi_{k-1} - \frac{\rho^{k-1}}{(k-1)!} e^\rho \pi_0 - \sum_{i=1}^{k-2} \pi_{i+1} \frac{\rho^{k-1-i}}{(k-1-i)!} \right]$$

Nech vstupný tok paketov má intenzitu  $\lambda = 10.95$  p/50ms (vid'. **Obr. 1**), špičková intenzita toku je 17 p/50ms. Nech máme k dispozícii front paketov o veľkosti  $n=10$ . Úlohou je určiť kapacitu vysielania tak, aby pravdepodobnosť straty paketov bola menšia ako hodnota 0.001 a maximálna doba oneskorenia paketov vo fronte neprekročila 40 ms.

Riešiť tento problém pomocou predchádzajúcich vzťahov je problematické, pretože sú závislé na zaťažení systému, ktoré ale vlastne chceme vypočítať. Preto najprv skúsime vyriešiť problém pomocou Efektívnej šírky pásma.

Efektívna šírka pásma Poissonovho procesu má tvar:

$$\alpha(\theta) = \lambda \frac{e^\theta - 1}{\theta} \quad (9)$$

Zo zadaných vstupných údajov  $p_{lost} = 0.001$  a  $n = 10$  vypočítame rozmerový parameter  $\theta$ :

$$p_{lost} \approx e^{-n\theta} \quad \Rightarrow \quad \theta = \frac{\ln p_{lost}}{-n} = \frac{\ln 0.001}{-10} = 0.6908$$

Pomocou rozmerového parametra určíme potrebnú kapacitu, ktorá bude garantovať maximálne straty paketov  $10^{-3}$ :

$$c = \lambda \frac{e^\theta - 1}{\theta} = 10.95 * \frac{e^{0.6908} - 1}{0.6908} = 15.8 \text{ p/50ms}$$

Určíme maximálne oneskorenie v bufferi (správa frontu je FIFO, First In First Out):

$$d = \frac{n}{c} = 50 * \frac{10}{15.8} = 31.65 \text{ ms}$$

Vypočítali sme hodnotu kapacity, ktorá vyhovuje daným požiadavkám QoS. Avšak táto hodnota nie je optimálna, keďže sme použili exponenciálne ohraničenie pravdepodobnosti straty paketov, získali sme horný odhad hľadanej kapacity. Inými slovami, pri použití tejto hodnoty budú požadované straty a oneskorenia ešte menšie než aké boli požadované.

Pomocou Efektívnej šírky pásma sme získali aj spodný odhad zaťaženia systému,  $\rho = \lambda/c = 10.95/15.8 = 0.69$ . V snahe získať optimálnu veľkosť hľadanej kapacity sme túto hodnotu  $\rho$  použili ako štartovaciu hodnotu do rekurentných vzťahov pre rozdelenie stavov modelu M/D/1. Postupnými iteráciami sme získali optimálnu hodnotu zaťaženia systému  $\rho = 0.71$  a odtiaľ hodnotu kapacity  $c = 15.4$  p/50ms. Je to najmenšia hodnota, pri ktorej pravdepodobnosť straty paketov je stále 0.001. Maximálne oneskorenie neprekročí hodnotu 40 ms:

$$d = \frac{n}{c} = 50 * \frac{10}{15.4} = 32.42 \text{ ms}$$

Pomocou Efektívnej šírky pásma sme relatívne jednoduchým výpočtom získali horný odhad pre hodnotu hľadanej kapacity,  $c = 15.8$  p/50ms, pri splnení požadovaných podmienok QoS,  $p_{lost} = 0.001$ ,  $d = 31.65 \text{ ms} < 40 \text{ ms}$ .

Pri použití iteračných metód sme z rekurentných vzťahov (9) získali presnejšiu hodnotu,  $c = 15.4$  p/50ms, pričom oneskorenie spĺňa kritérium  $d = 32.42 \text{ ms} < 40 \text{ ms}$ . V druhom prípade musela byť najprv prevedená úplna analýza modelu a odvodené vzťahy pre pravdepodobnostné rozdelenie stavov systému.

Aj keď v iných prípadoch použitie Efektívnej šírky pásma nemusí poskytnúť také presné výsledky, minimálne relatívne jednoduchým výpočtom získame štartovacie hodnoty pre numerické alebo simulačné metódy.

### 3 Menežovanie Triple prevádzky

S pojmom Triple prevádzka, resp. Triple Traffic sme sa stretli v rámci riešenia projektu pre T-COM, [5]. Triple prevádzka predstavuje poskytovanie naraz troch služieb, internetovej televízie IPTV, telefónovaniu cez internet VoIP a dátový vysokorýchlostný internet HSI (High Speed Internet). Jednou z úloh projektu bolo určiť koľko VoIP zákazníkov a HSI zákazníkov možno prevádzkovať v nových chrbticových uzloch Black Diamond 2000 (BD 2000) pri kvalitnom prenose IPTV. Samozrejme pre všetky služby museli byť splnené parametre strát a oneskorenia QoS. Nebudeme uvádzať presné technické parametre, ktoré sa priamo dotýkajú T-COMu, ale uvedieme si len vlastné postupy pri dimenzovaní chrbticového uzla.

Jednotlivé IP služby majú definované ako parametre QoS maximálne oneskorenie a pravdepodobnosť straty paketov. Avšak vo formule (3) pre dimenzovanie linky sa nachádza aj maximálna veľkosť frontu  $n$ . Z toho dôvodu sme museli v pôvodnej správe [5] pomocou numerických metód zohľadňovať jednotlivé veľkosti frontov pre dané služby a prepočítavať na odpovedajúce oneskorenie paketov pomocou hľadanej kapacity zpracovania.

V súčasnosti sa však používajú v uzloch veľkokapacitné pamäte, pri ktorých sa nepredpokladá pretečenie. Pakety sa zahadzujú nie kvôli nedostatku miesta vo fronte, ale kvôli neakceptovateľnej dobe čakania. Vďaka tomu môžeme formulu (3) upraviť tak, aby sa v nej nachádzalo maximálne oneskorenie  $d$ . Predpokladáme FIFO správu frontu a využijeme vzťah vyplývajúci z EB:  $c\theta = \lambda_a(\theta)$ . Dostávame väzbu medzi pravdepodobnosťou straty paketov a maximálnym oneskorením:

$$d = n/c \Rightarrow p_{lost} = P(q > n) = e^{-\theta n} = e^{-\theta dc} = e^{-d\lambda_a(\theta)} \quad (10)$$

Asymptotické zanikanie " $\approx$ " sme zamenili za rovnosť " $=$ ". To znamená, že pri určovaní kapacity pracujeme s horným odhadom rozdelenia pravdepodobnosti zanikania frontu a z toho dôvodu získame horný odhad hľadanej kapacity.

Kumulatívna vytvárajúca funkcia je rýdzo konvexná. To zaručuje existenciu inverznej funkcie  $\lambda^{-1}(\cdot)$ . Úpravou vzťahu (10) získame priamu závislosť medzi rozmerovým parametrom  $\theta$  a parametrami QoS:

$$\theta_0 = \lambda^{-1}\left(\frac{\ln p_{lost}}{-d}\right) \quad (11)$$

Hľadanú kapacitu linky nastavíme pomocou Efektívnej šírky pásma:

$$c = \alpha(\theta_0) = \frac{\lambda(\theta_0)}{\theta_0} \quad (12)$$

V prípade použitia Poissonovho procesu pre modelovanie vstupného toku sme odvodili explicitný vzorec pre výpočet kapacity linky tak, aby sme garantovali požadované parametre QoS:

$$c = F(d, p_{lost}) = \frac{\ln p_{lost}}{d[\ln(d\lambda) - \ln[d\lambda - \ln p_{lost}]]} \quad (13)$$

Vzťah (13) umožňuje relatívne jednoduchým spôsobom získať horný odhad hľadanej kapacity. Pre presnejšiu hodnotu by sme museli použiť metódy Teórie hromadnej obsluhy, čo predstavuje zostavenie systému lineárnych rovníc pre pravdepodobnosti stavov a následné hľadanie riešenia pomocou iteračných algoritmov pretože neznáma kapacita je zároveň parametrom týchto rovníc. Z našich skúseností však vieme, že pri malých hodnotách QoS je rozdiel medzi odhadom a hodnotou kapacity zanedbateľný rozdiel (pozri kapitolu 2)

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené špecifikácie pre Tripple traffic – trojitú prevádzku. Služby sú zoradené podľa priority. Hodnoty charakteristik, ale hlavne hodnoty parametrov QoS sú oproti realite pozmenené kvôli zachovaniu diskretnosti voči T-COMu. V reálne sa používajú podstatne prísnejšie kritériá:

**Tab. 1: Charakteristiky a parametre QoS pre Tripple prevádzku**

Priorita	Služba	Paket [kbit]	Intenzita [paket/s]	Podmienky QoS
1.	VoIP	0.264	50	$p_1=0.05$ $t_1 = 50$ ms
2.	IPTV	10.156	120 000	$p_2=0.0001$ $t_2 = 1$ ms
3.	HSI	4.2	10	$p_3=0.05$ $t_3 = 200$ ms

Zdroj: [5]

Ak nemáme k dispozícii žiadne iné informácie, iba hodnotu strednej intenzity, môžeme na modelovanie použiť len jednoparametrické rozdelenie. Pravidlom býva, že sa použije Poissonové rozdelenie, ktoré popisuje zhlukovitosť príchodu udalostí. Tým pádom garantuje isté predimenzovanie modelu.

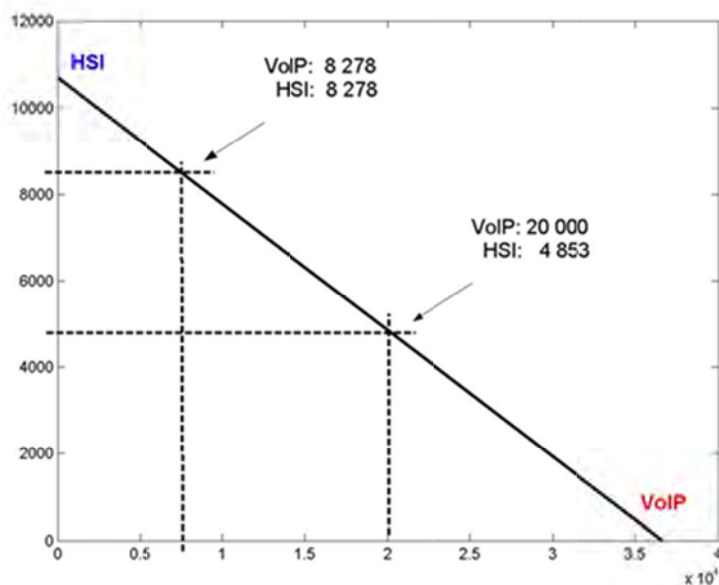
Pri Poissonovom vstupe paketov kapacitu garantujúcu dané parametre QoS vypočítame jednoducho pomocou vzťahu (13):

$$c_1 = 76.06 \text{ p/s} \qquad c_2 = 124\,550 \text{ p/s} \qquad c_3 = 16.36 \text{ p/s}$$

Prístupový uzol BD2000 má kapacitu 2Gbit. Väčšinu jeho kapacity zaberie prevádzka IPTV. Ak označíme  $r_i$  veľkosť paketu pre  $i$ -tu službu, potom zostatková kapacita pri prevádzke IPTV je  $K = 2\text{Gbit} - r_2 * c_2 = 735\,070$  kbit. Ak by sme chceli ďalej prevádzkovať napríklad  $N_1 = 30\,000$  VoIP zákazníkov, vo zvyškovej kapacite ostáva priestor pre  $N_3$  zákazníkov HSI podľa vzťahu:

$$N_3 = (K - N_1 r_1 c_1) / r_3 c_3 \qquad (14)$$

**Obr. 3: Vzťah medzi počtom zákazníkov VoIP a HSI**



Zdroj: [5]

Zaujímavá je otázka v prípade prevádzky IPTV, koľkým zákazníkom môžeme ešte ponúknuť naraz balíček dvoch služieb, VoIP a HSI. Riešenie označíme, a získame ho zo vzťahu  $x = (K - x r_1 c_1) / r_3 c_3$ . Počet je  $x=8\,278$  balíčkov. Pritom stále ponúkame služby, pri ktorých garantujeme dané parametre QoS, dokonca vďaka použitiu horných odhadov pri dimenzovaní, aj s tzv. vysokým koeficientom bezpečnosti.



Otázkou zostáva vhodnosť použitia Poissonovho rozdelenia pre rôzne IP služby. Historicky bol Poissonov model považovaný za isté predimenzovanie reality, pretože vďaka exponenciálnemu rozdeleniu medzier modeloval tzv. návalovosť príchodu udalosti. V súčasnosti však existujú toky v IP sieti, ktoré vykazujú tzv. burst periód, a ktorých variabilnosť je podstatne väčšia než ako má Poissonov tok. Ideálne je zaoberať sa procesmi, ktoré majú analytický tvar Efektívnej šírky pásma, preto je možné odvodiť explicitný vzťah pre hľadajú kapacitu linky a parametre QoS. V našej praxi sa nám osvedčili Markovove modulované procesy, [4], ktoré dokážu modelovať široké spektrum IP tokov od deterministických až po On/Off zdroje s prerušovanými burst periódami. Adekvátnosť použitého modelu však závisí od úrovne dát, ktoré máme od zadávateľa úlohy k dispozícii.

## Záver

Ukázali sme použitie efektívnej šírky pásma pre optimálne pridelovanie kapacity IP siete jednotlivým poskytovaným službám tak, aby sme zároveň garantovali požadovanú kvalitu danej služby, QoS. Odvodili sme explicitný vzorec pre určenie kapacity a ukázali sme jeho využitie pri menežovaní tzv. Tripple prevádzky v prístupovom sieťovom uzle BD2000. Uvedené riešenie odpovedá našim výskumným zámerom vytvárať analytické nástroje použiteľné pre inžiniersku prax v oblasti dimenzovania IP siete.

## Reference

- [1] GELENBERE, E., PUJOLLE, G.: *Intorduction to Queueing Networks*, John Wiley & Sons Ltd., Paris, 1987
- [2] CHANG, Ch., Sh., *Performance Guarantees in Communication Networks*, Springer, Verlag, 2000
- [3] KELLY, F. P., *Notes on Effective Bandwidth," Stochastic Networks: Theory and Application*, pages 141-168, Oxford University Press, 1996
- [4] SMIEŠKO J., URAMO VÁ J., *IP Traffic description by Markov Modulated Regular Process*, Journal of Information, Control and Management Systems, Faculty of Management Science and Informatics, University of Žilina, vol. 1, no. 1, 2010
- [5] T-COM: *Project: Modeling of IP traffic*, Research report, 2009

## Kontaktní adresa

### Mgr. Juraj Smieško, PhD.

Žilinská Univerzita, Fakulta riadenie a informatiky, Katedra informačných sietí

Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, SR

E-mail: smiesko@kis.fri.uniza.sk

Tel. číslo: +420905618323

Received: 01. 01. 2014

Reviewed: 09. 01. 2014, 27. 01. 2014

Approved for publication: 19. 11. 2014