

Újszerű erőforrásigény-becslő módszerek csomagkapcsolt hálózatokban

MARTINECZ MÁTYÁS, BÍRÓ JÓZSEF, HESZBERGER ZALÁN

martinecz@tmit.bme.hu

Reviewed

Kulcsszavak: *ekvivalens kapacitás, QoS, hívásengedélyezés*

Az átviteli minőségre vonatkozó garanciák hiánya a csomagkapcsolt hálózatok már-már klasszikusnak nevezhető problémája. Ilyen garanciák nélkül az új, értéknövelt szolgáltatások gyors elterjedése az Interneten annak ellenére sem lehetséges, hogy a megfelelő sebességet biztosító hozzáférési technológiák már elérhetők. Cikkünkben olyan könnyen megvalósítható erőforrásigény felmérő technikákat ismertetünk, amelyekkel megbecsülhető az aggregált hálózati forgalom számára a minőségjellemzőkre vállalt garanciák teljesítése mellett minimálisan szükséges sávszélesség. Ezen módszerek alapját képezhetik a csomagkapcsolt (hozzáférési) hálózatok terhelésszabályozását végző (például hívásengedélyező) algoritmusoknak.

1. Bevezetés

Napjainkban világszerte óriási ütemben növekszik a digitális előfizetői vonalat (DSL) használók száma. A gyors növekedés oka a DSL szolgáltatások kedvező árában és az általuk elérhető viszonylag nagy adatsebességben keresendő. Az alacsony árra magyarázatot ad, hogy a DSL hozzáféréshez szimmetrikus rézkábelek használhatók lesznek, azok mindezülig használaton kívül eső 144 kHz feletti frekvenciatartományainak kiaknázásával. Mivel ezek a rézkábelek már elérik a telefonnal rendelkező felhasználókat, ezért bizonyos esetekben a digitális előfizetői vonalak telepítési költségei lehetnek a legkedvezőbbek.

A DSL-en keresztül nyújtott szolgáltatások között toronymagasan vezet az Internet hozzáférés [1]. A korszerű hozzáférési technológia elégséges átviteli sebességet biztosít a legtöbb, ma elérhető Internetes szolgáltatás számára. A korábban elérhető alacsony adatátviteli sebességek komoly visszahúzó erőt jelentettek az Internetes technológiák és alkalmazások fejlődésére. A digitális előfizetői vonalak megjelenésével a modern, szélessávú hálózati szolgáltatások evolúciója új lendületet kapott. Ezen új szolgáltatások elterjedését a hozzáférési hálózatok üzemeltetői is szorgalmazzák, hiszen ezek új előfizetőket vonzanak táborukba.

A TCP/IP alapú csomagkapcsolt hálózatok egyik nagy, már-már klasszikusnak nevezhető, problémája az átviteli minőségre vonatkozó (QoS) garanciák hiánya. Ilyen biztosítékok nélkül az értéknövelt szolgáltatások bevezetése és elterjedése nem lehetséges. Minőségi garanciákra valamint az őket lehetővé tevő hálózat- és forgalommenedzsment algoritmusokra leginkább ott van szükség, ahol az erőforrások is szűkösek: a helyi hurokban illetve a hozzáférési hálózatban.

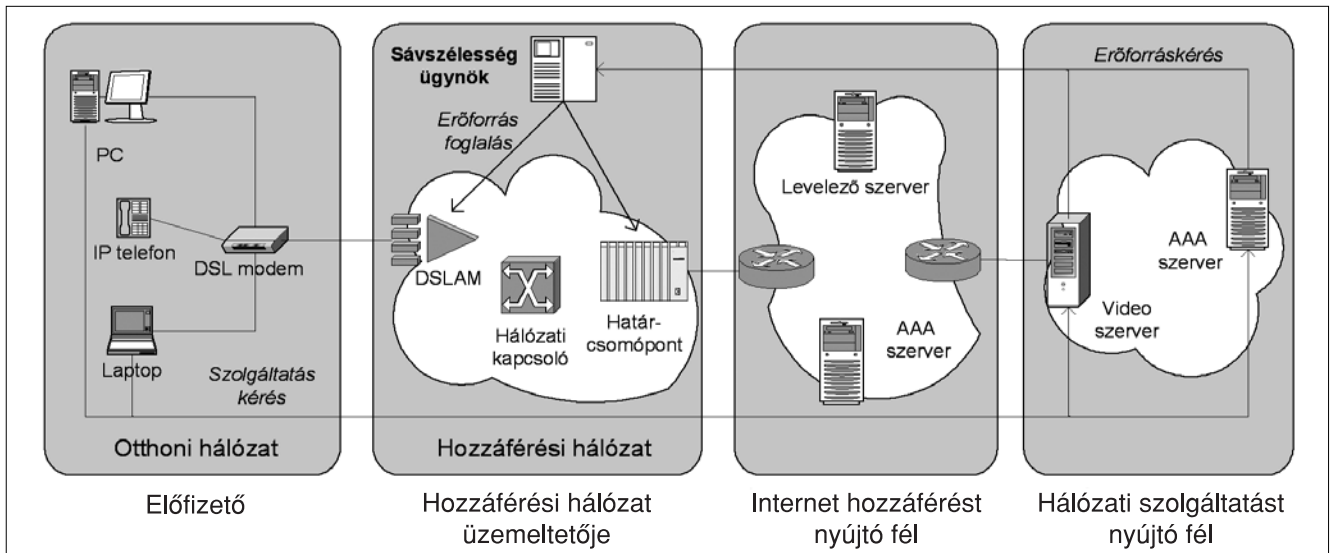
Az adatátvitel minősége a hálózat aktuális terheltségének a függvénye, amit például a hálózati tartomány egyes linkjeinek túlcsoportulási valószínűségével (a link-szaturációs valószínűséggel) vagy a csomagvesztési

arányal jellemezhetünk. Előbbi mérték azt adja meg, hogy (tároló nélküli hálózati modellt feltételezve) egy adott linken átmenő aggregált forgalom pillanatnyi sáv-szélességigénye az idő hány százalékában haladja meg a link kapacitását. Ez a mérték sajnos nem mond sokat a ténylegesen elvesző információ mennyiségéről, ezért célszerűbb a csomagvesztési arányra előírást adni, ami a forgalom azon hányadát jelenti, amelyet a rendszer nem képes továbbítani linktúlcsoportulás miatt.

Jelen cikkben újszerű módszereket mutatunk be, amelyekkel egy adott hálózati szegmens terheltsége előre becsülhető minimális számú paraméter segítségével. Ezt a becslést a hálózati tartományt felügyelő sáv-szélesség-ügynök használhatja fel forgalom-szabályozó döntések meghozatalához. A bemutatandó formulák a QoS előírás figyelembe vételével közvetlenül az aggregált forgalom minimális sáv-szélesség igényét becsülik, ellentétben azokkal az eljárásokkal, amelyek adott linkkapacitás mellett a garantált QoS mérték várható értékét határozzák meg. Az általunk alkalmazott közvetlen módszer előnye, hogy az igényelt sáv-szélesség aktuális értékét elegendő periodikusan elvégzett háttérszámításokkal frissen tartani, míg a QoS mérték várható értékét minden újonnan érkező folyam belépése előtt ellenőrizni kell, ami a hívásengedélyezési döntés meghozatalát lassítja.

Rövidítések

BFFM	– Bufferless Fluid Flow Multiplexing (<i>tárolás mentes folyadék folyam aggregálás</i>)
DSL	– Digital Subscriber Line (<i>digitális előfizetői vonal</i>)
LMGF	– Logarithmic Moment Generating Function (<i>logaritmus momentumgeneráló fv.</i>)
PLR	– Packet Loss Ratio (<i>csomagvesztési arány</i>)
QoS	– Quality of Service (<i>szolgáltatásminőség</i>)



1. ábra Minőségbiztosított Internetes szolgáltatás a hozzáférési hálózatban elhelyezett sávszélesség-ügynökkel

A következőkben először az általunk alkalmazott matematikai modellt ismertetjük, majd a harmadik részben olyan technikákat tárgyalunk, amelyekkel egy adott forgalom pillanatnyi sebességeloszlásának momentumgeneráló függvénye felülről becsülhető. A negyedik részben megmutatjuk, hogyan konvertálhatók a QoS mértékekre vonatkozó becslések sávszélesség jellegű mennyiséggé, végül numerikus példákon keresztül összehasonlítjuk az újonnan bemutatott és a régebbi eredmények hatékonyságát.

2. Minőségjellemzők és becslésük csomagkapcsolt hálózatokban

A bevezetőben felvázolt probléma megközelítésénél a népszerű tároló nélküli folyadék folyam aggregálási (BFFM) modellt alkalmaztuk. Mivel ebben a modellben nincs tároló, amely csökkentené a linkszaturációs valószínűséget, ezért ez a megközelítés alkalmas a számunkra fontos QoS mértékek konzervatív becslésére.

Az általunk alkalmazott BFFM modellben n darab folyadék folyamot aggregálunk egy C kapacitású linken. Jelölje az X_i valószínűségi változó az i -ik stacionárius folyam pillanatnyi adási sebességét. Tegyük fel, hogy minden folyam esetén megállapítható egy p_i csúcsponti sebesség, azaz $0 \leq X_i \leq p_i$. Továbbá jelölje az X valószínűségi változó az aggregált folyam adási sebességét:

$$X = \sum_{i=1}^n X_i$$

Ekkor a linkszaturációs valószínűséget az alábbi képlettel definiálhatjuk:

$$P_{sat} \stackrel{def}{=} P(X > C) \tag{1}$$

Ez a valószínűség tehát arról ad információt, hogy (ergodikus rendszert feltételezve) az idő milyen hányadában haladja meg az aggregált forgalom pillanatnyi adási sebessége a link kapacitását. Ez a viszonylag egyszerűen számolható QoS mérték a hálózatüzemel-

tető szempontjából lehet hasznos, azonban a ténylegesen elvesző adatmennyiségről nem ad megbízható információt.

Vegyük észre, hogy azonos linkszaturációs valószínűség mellett az elvesztett információmennyiség különböző lehet, ezért a felhasználók elégedettségét jobban jellemzi a csomagvesztési arány mértéke, melynek definíciója:

$$PLR \stackrel{def}{=} \frac{E[(X - C)^+]}{E[X]} \tag{2}$$

ahol $E[.]$ a várható érték képzés operátora, továbbá $(X - C)^+ = \max(X - C, 0)$. Tehát a csomagvesztési arány a C linkkapacitást meghaladó, s így (tároló hiányában) csomagvesztést okozó pillanatnyi adási sebesség várható értékének, valamint a pillanatnyi adási sebesség átlagos értékének hányadosaként számolható.

A hívásengedélyezési döntés alapja a garantált QoS mérték és annak a rendelkezésre álló információkból becsült értéke közötti reláció:

$$P(X > C) \leq e^{-\gamma} \text{ vagy } \frac{E[(X - C)^+]}{E[X]} \leq e^{-\gamma} \tag{3}$$

A valóságban jobban alkalmazható, ha az adott link összkapacitás-értékét vetjük össze az aggregált forgalom számára az adott QoS korlát mellett minimálisan szükséges átviteli kapacitás értékével. Ezt a sávszélességet a szakirodalomban *ekvivalens kapacitás*nak nevezik, aminek definíciója linkszaturációs valószínűsége vagy csomagvesztési arányra vonatkozó korlát esetén az alábbi alakban írható fel:

$$C_{equ,sat} \stackrel{def}{=} \inf\{C: P_{sat} \leq e^{-\gamma}\} \text{ vagy } C_{equ,PLR} \stackrel{def}{=} \inf\{C: PLR \leq e^{-\gamma}\} \tag{4}$$

A linkszaturációs valószínűség vagy a csomagvesztési arány becslésére a jól ismert Chernov-korlát Baha-

dur-Rao-féle kiterjesztése alkalmazható. Ezzel a módszerrel a Csernov korláthoz képest pontosabb, de nem feltétlenül felső korlát jellegű becslést kaphatunk az előírt QoS mértékre [5,6]:

$$P(X > C) \approx \frac{1}{s^* \sqrt{2\pi\sigma^2(s^*)}} \exp(\Lambda_X(s^*) - s^*C) \text{ vagy (6)}$$

$$PLR \approx \frac{1}{M(s^*)^2 \sqrt{2\pi\sigma^2(s^*)}} \exp(\Lambda_X(s^*) - s^*C) \quad (7)$$

ahol $\Lambda_X(s)$ az X valószínűségi változó logaritmusos momentumgeneráló függvénye (LMGF),

$$M \stackrel{\text{def}}{=} E[X], \quad \sigma^2(s) = \frac{\partial^2}{\partial s^2} \Lambda_X(s), \quad s^* = \arg \inf_s \{ \Lambda_X(s) - sC \}$$

Látható, hogy a bemutatott becslések kiszámításához szükségünk van az aggregált forgalom pillanatnyi sebességeloszlásának logaritmusos momentumgeneráló függvényére. Ehhez azonban a vizsgált sztochasztikus folyamat minden momentumát ismernünk kellene, ami a gyakorlatban nem megoldható.

Erre problémára a következő szakaszban mutatunk megoldást, ahol három olyan momentumgeneráló függvény becslő módszert ismertetünk, amelyek paraméterigénye a források számára, csúcs adási sebességeire, valamint az aggregált forgalmi folyamat átlagos adási sebességére korlátozódik.

3. Kevés paramétert igénylő momentumgeneráló függvény becslések

Az első módszer, amivel meghatározhatjuk az aggregált forgalmi folyamat momentumgeneráló függvényének felső korlátját, Hoeffding 1963-ban publikált eredményeinek egyik következménye [2]. Legyenek X_i -k, $i = 1 \dots n$ független, korlátos valószínűségi változók, amelyekre

$$X = \sum_{i=1}^n X_i, \quad M \stackrel{\text{def}}{=} E[X], \quad 0 \leq X_i \leq p_i.$$

Ekkor $s > 0$ esetén,

$$G_X(s) \leq \exp(sM) \exp\left(\frac{s^2 \sum_{i=1}^n p_i^2}{8}\right) \quad (8)$$

ahol $G_X(s)$ az X valószínűségi változó momentumgeneráló függvénye.

Hoeffding eredményeit felhasználva jutottak el Heszberger és mások [3] az alábbi – korlátos értékű valószínűségi változók ($0 \leq X_i \leq p_i$) összegének

($X = \sum_{i=1}^n X_i$) momentumgeneráló függvényére vonatkozó – felső korláthoz:

$$G_X(s) \leq \left(\frac{M + \sum_{k=1}^n \frac{p_k}{e^{sp_k} - 1}}{n} \right) \prod_{i=1}^n \left(\frac{e^{sp_i} - 1}{p_i} \right) \quad (9)$$

Az eddig bemutatott két korlát tehát Hoeffding eredményeit használja fel. Alkalmazhatunk azonban egy má-

sik, újszerű megközelítést a momentumgeneráló függvény felső korlátjának becsléséhez. A harmadik korlát megkonstruálásánál a valószínűségi változók bizonyos típusú sztochasztikus sorbarendezését használjuk fel. Legyen adott két valószínűségi változó X és Y , melyek eloszlásfüggvénye F_X és F_Y . Ekkor azt mondjuk, hogy növekvő konvex sorbarendezés [4] szerint X kisebb, mint Y (azaz $X <_{icx} Y$), ha

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) dF_X(x) \leq \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) dF_Y(x)$$

teljesül minden olyan növekvő, konvex $\phi(x)$ függvényre, amelyre az integrál létezik.

A definícióból következik, hogy ha $X <_{icx} Y$, akkor $s > 0$ esetén $G_X(s) \leq G_Y(s)$ fennáll. Ez könnyen ellenőrizhető, ha $\phi(x)$ helyére e^{sx} -et helyettesítünk.

A következő lemmát felhasználva egy új momentumgeneráló függvény felső korlát becslést kapunk [4]. Jelöljenek az $X_1^{onoff}, \dots, X_n^{onoff}$ valószínűségi változók n független heterogén on-off forrást, amelyek csúcs adási sebességei rendre p_1, \dots, p_n , átlagos adási sebességeik pedig rendre m_1, \dots, m_n . Jelöljön $Y_1^{onoff}, \dots, Y_{n_Y}^{onoff}$ n független homogén on-off forrást, amelyek csúcs adási sebességei azonosan

$$p = \max(p_i, i=1, \dots, n), \quad n_Y = \text{int} \left\{ \sum_{i=1}^n p_i / p \right\}$$

(azaz a kapcsos zárójelek által határolt kifejezés egészrészé), átlagos adási sebességei azonosan

$$m = \sum_{i=1}^n m_i / n_Y. \text{ Ekkor}$$

$$X_{onoff} <_{icx} Y_{onoff}, \quad X_{onoff} \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{i=1}^n X_i^{onoff}, \quad Y_{onoff} \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{i=1}^{n_Y} Y_i^{onoff}$$

A növekvő konvex sorbarendezés definíciójának következményét és a lemmát felhasználva az aggregált folyamat momentumgeneráló függvényének felső korlátja a következő módon írható fel [8]. Legyenek az X_i -k, $i = 1 \dots n$ független, korlátos valószínűségi változók, amelyekre

$$X = \sum_{i=1}^n X_i, \quad M \stackrel{\text{def}}{=} E[X], \quad 0 \leq X_i \leq p_i.$$

Ekkor $s > 0$ esetén,

$$G_X(s) \leq \left(1 - \frac{M(1 + e^{sp})}{n_Y p} \right)^{n_Y} \quad (10)$$

A továbbiakban a (8), (9) és (10) momentumgeneráló függvény korlátokra rendre a $\tilde{G}_{X,hoef}(s)$, $\tilde{G}_{X,ih}(s)$ és $\tilde{G}_{X,so}(s)$ jelölésekkel fogunk hivatkozni, míg az ezekhez tartozó LMGF-ekre a $\tilde{\Lambda}_{X,hoef}(s)$, $\tilde{\Lambda}_{X,ih}(s)$ és $\tilde{\Lambda}_{X,so}(s)$ jelöléseket használjuk majd.

4. Közvetlen módszerek az ekvivalens kapacitás meghatározására

A előző szakaszban bemutatott momentumgeneráló függvény közelítéseket alkalmazva a (6) és (7) formulákban, az adott aggregált forgalmi folyamat szükséges paramétereinek és a linkkapacitás ismeretében becslést adhatunk az előírt QoS mérték (linkszaturációs va-

lőszínűség vagy csomagvesztési arány) várható értékére. A becült értéket összevetve az előírással (lásd (3)) hívásengedélyezési döntést hozhatunk.

Vegyük észre, hogy a (6) és (7) eredeti Bahadur-Rao formulákban nemcsak a logaritmusos momentumgeneráló függvény, de annak második deriváltja is szerepel.

A vizsgálatok azt mutatják, hogy mivel a momentumgeneráló függvényt sem ismerjük egzaktul (annak csak egy felső korlátját ismerjük), azért annak második deriváltjára végképp pontatlan becslésünk lesz, ami elrontja a formulák alkalmazhatóságát. Valahogy tehát ki kell küszöbölnünk az egyenletekből a második deriváltat. Ezt megtehetjük, ha alkalmazzuk Montgomery és Veciana eredményeit [7]:

$$P_{sat} \approx \exp(-I - \frac{1}{2} \log 4\pi I), \quad (11)$$

$$PLR \approx \exp(-I - \frac{1}{2} \log 4\pi I - \log s^* M), \quad \text{ahol} \quad (12)$$

$$I = -\inf_s \{ \Lambda_X(s) - sC \}, \quad s^* = \arg \inf_s \{ \Lambda_X(s) - sC \}.$$

Már korábban utaltunk rá, hogy a gyakorlatban a garantált QoS mérték várható értéke helyett jobban alkalmazható megoldás az aggregált forgalom ekvivalens kapacitását kiszámolni. Ebben az esetben ugyanis nem kell minden egyes újonnan érkező folyam belépésekor kiszámolni a várható QoS mértéket, hanem folyamatosan frissen tartva az ekvivalens kapacitás értékét az új folyamot beengedhetjük, ha a szabad kapacitás nagyobb, mint mondjuk a belépni kívánó folyam csúcs adási sebessége.

Ha a (4) formulákban alkalmazzuk a linkszaturációs valószínűsége (11) és a csomagvesztési arányra (12) vonatkozó egyszerűsített Bahadur-Rao-féle közelítéseket, indirekt módszert kapunk az ekvivalens kapacitás meghatározására. Ebben az esetben azonban ketős szélsőérték keresést (C-ben és s-ben is infimumot kell keresni) kell végrehajtanunk, ami nagyon megnöveli a módszer számításgényét.

Ennek a problémának a megoldására olyan direkt formulákat dolgoztunk ki, amelyek segítségével egy lépésben kiszámolható a keresett ekvivalens kapacitás. Ezek az alábbi formában írhatók:

$$\tilde{C}_{equ,sat}^{B-R} \stackrel{def}{=} \inf_{s>0} \left\{ \frac{\tilde{\Lambda}_X(s)}{s} + \frac{\gamma}{s} - \frac{\gamma \log 4\pi\gamma}{s(1+2\gamma)} \right\} \quad (13) \text{ és } (14)$$

$$\tilde{C}_{equ,WLR}^{B-R} \stackrel{def}{=} \inf_{s>0} \left\{ \frac{\tilde{\Lambda}_X(s) + \gamma - 1 + \log M + \frac{2\gamma}{1+2\gamma} \log \frac{1+2\gamma}{4M\sqrt{\pi}\gamma^{\frac{3}{2}}}}{-\frac{1}{M} + s} \right\}$$

ahol $\tilde{\Lambda}_X(s)$ bármilyen megfelelő becslése $\Lambda_X(s)$ -nek. A most ismertetett eredmények részletesebb tárgyalása megtalálható [8]-ban.

5. Numerikus vizsgálatok

Ebben a szakaszban a bemutatott momentumgeneráló függvény közelítések és az azokat alkalmazó ekvivalens kapacitás formulák összehasonlító elemzését végezzük el numerikus példák segítségével. Ehhez egyszerű, két osztályú, on-off forrásokot tartalmazó forgalmi összeállítást definiálunk. Az egyes osztályokba tartozó források számát n_1 -gyel és n_2 -vel jelöltük. Az azonos osztályba tartozó források csúcs és átlagos adási sebessége azonos, ezeket rendre m_i és p_i , $i \in \{1,2\}$ jelöli. A numerikus példákban alkalmazott forgalmi helyzetek jellemző paramétereit az 1. táblázatban is összefoglaltuk. Az első forgalmakészlet (K1) tekinthető tömörítetlen hang és tömörített videófolyamok aggregátumának, míg a második (K2) forgalmakészlet tekinthető tömörítetlen és tömörített hang közös folyamjának. A két összeállítás közötti különbség a csúcs és az átlagos adási sebességek eltéréséből adódik (lásd a táblázat utolsó oszlopa).

A 2.-5. ábrákon a linkszaturációs valószínűség és a csomagvesztési arány egzakt értékeinek és felső korlátjainak 10 alapú logaritmusát ábrázoltuk a C átviteli kapacitás függvényében. Mivel a bemutatott korlátok az

$$M < C < P \quad (P \stackrel{def}{=} \sum_{i=1}^n p_i)$$

intervallumban adnak értelmes eredményt, ezért az (M,C) intervallum egy részét ábrázoltuk úgy, hogy a linkszaturációs valószínűség és a csomagvesztési arány egzakt értékei ne legyenek kisebbek, mint 10^{-8} . Az egzakt értékeket folytonos vonallal, míg a korlátokat pont-vonallal ($\tilde{\Lambda}_{X,hoe}(s)$), szakasz-pont vonallal ($\tilde{\Lambda}_{X,ih}(s)$) és szakasz-pont-pont vonallal ($\tilde{\Lambda}_{X,so}(s)$) ábrázoltuk.

Az ábrákon látható, hogy általában a $\tilde{\Lambda}_{X,hoe}(s)$ korlátot használó közelítések a legpontatlanabbak, míg a másik két becslés pontossága elfogadhatóbb. A görbék közötti vízszintes és függőleges távolságok növekvő γ (szigorodó QoS előírás) esetén általában nőnek. A $\tilde{\Lambda}_{X,ih}(s)$ és $\tilde{\Lambda}_{X,so}(s)$ korlátokon alapuló becslések különbsége esetenként elenyésző, számításgényük azonban nagyban eltér: a sztochasztikus sorbarendezésen alapuló formula jóval könnyebben alkalmazható. A $\tilde{\Lambda}_{X,hoe}(s)$ -t használó ekvivalens kapacitás becslés használata csak abban az esetben javasolható, ha a számítási sebesség döntő fontosságú.

A sávzélességigény-becslő eljárások teljesítőképességét is megvizsgáltuk. A numerikus analízist a következő módszerrel végeztük. Először egy adott C ér-

1. táblázat Az alkalmazott forgalmi összeállítások

	n_1	m_1 [kbit/s]	p_1 [kbit/s]	n_2	m_2 [kbit/s]	p_2 [kbit/s]	P/M
K1	100	51	64	10	200	500	2,24
K2	100	51	64	1000	4,8	5,8	1,34

ték mellett kiszámoltuk az egzakt linkszaturációs valószínűséget és a csomagvesztési arányt. Ezután a $P_{sat}=e^{-\gamma}$ és $PLR=e^{-\gamma}$ képletekből meghatároztuk a megfelelő γ értékeket, amelyeket végül az előzőekben bemutatott $\tilde{\Lambda}_{X,hoe}(s)$, $\tilde{\Lambda}_{X,ih}(s)$ és $\tilde{\Lambda}_{X,so}(s)$ korlátokkal együtt a (13), (14) képletekbe helyettesítettünk. Az így kapott ekvivalens kapacitás közelítések és annak egzakt értéke (C) közötti relációt vizsgáltuk.

A 6. és 7. ábrán a $(\tilde{C}_{equ,sat}^{B-R}-C)/C$ relatív hibát ábrázoltuk a K1 és K2 forgalmi terhelés esetén. Folytonos vonallal a $\tilde{\Lambda}_{X,hoe}(s)$, pontvonallal a $\tilde{\Lambda}_{X,ih}(s)$, szakaszpontvonallal pedig $\tilde{\Lambda}_{X,so}(s)$ LMGF korlát felhasználásával kapott ekvivalens kapacitás becslés relatív hibáit ábrázoltuk. Vegyük észre, hogy a $\tilde{\Lambda}_{X,hoe}(s)$ alapú becslés súlyosan alulbecsli, míg a kettes számú forgalomkészlet esetén a $\tilde{\Lambda}_{X,so}(s)$ alapú becslés részben alulbecsli az egzakt ekvivalens kapacitás értéket.

A 8. és 9. ábrán a $(\tilde{C}_{equ,WLR}^{B-R}-C)/C$ relatív hibát ábrázoltuk a két forgalomkészlet esetén. Folytonos vonallal a $\tilde{\Lambda}_{X,hoe}(s)$ korlát, pontvonallal a $\tilde{\Lambda}_{X,ih}(s)$ korlát, szakaszpontvonallal pedig a $\tilde{\Lambda}_{X,so}(s)$ korlát behelyettesítésével számolt ekvivalens kapacitás becslések relatív hibáit ábrázoltuk.

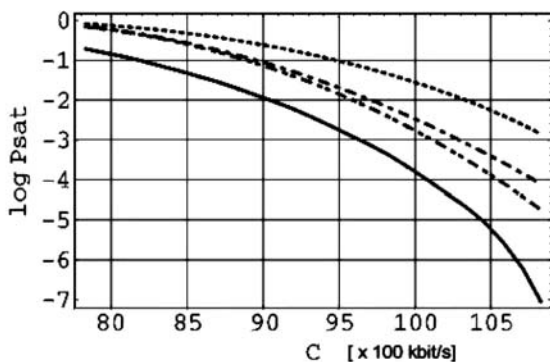
A $\tilde{\Lambda}_{X,hoe}(s)$ korlátot használó sávszélességigény-becslő módszerek pontossága a legrosszabb (gyakran megengedhetetlenül pontatlanok) majdnem minden esetben, míg általában a sztochasztikus sorbarendezésen alapuló módszer relatív hibája a legkisebb. Megfigyelhető, hogy a relatív hibák közötti különbségek kisebb abszolút értékű egzakt sávszélességigény (tehát

kisebb γ érték) esetén nagyobbak. Az is látható, hogy, a vizsgált formulák nagy valószínűséggel felső becslést adnak az egzakt sávszélességigényre, ha azokba a $\tilde{\Lambda}_{X,ih}(s)$ korlátot vagy a $\tilde{\Lambda}_{X,so}(s)$ korlátot helyettesítjük. A közelítések relatív hibáinak abszolút értéke γ növekedésével (azaz a QoS előírás szigorodásával) csökken.

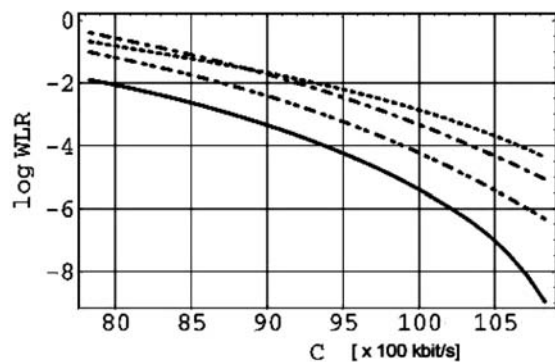
Összefoglalás

A cikkben újszerű sávszélességigény-becslő eljárásokat mutattunk be, amelyekkel a linkszaturációs valószínűségekre vagy a csomagvesztési arányra vonatkozó garancia vállalása mellett a minimálisan szükséges átviteli kapacitás számolható. A bemutatott módszerek nagy előnye, hogy működésükhöz csak a forgalmi folyamatok számát, adási sebességeik felső korlátját valamint az aggregált folyamat átlagos adási sebességét kell ismernünk.

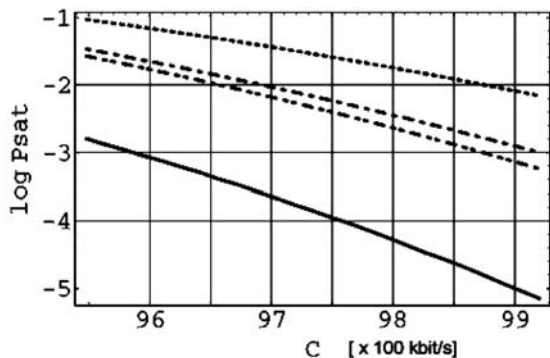
Az ismertetett ekvivalens kapacitás formulák kiszámolásához szükség van a vizsgált folyamat statisztikai jellemzőinek pontos ismeretére, azonban erre vonatkozóan a rendelkezésre álló három paraméter alapján csak becslés adható. A cikk harmadik szakaszában ezért bemutatunk két ismert és egy újdonságnak számító momentumgeneráló függvény felső korlát becslő módszert. Habár ezen formulák paraméterigénye azonos, az ötödik szakaszban tárgyalt numerikus példákon keresztül megmutattuk, hogy alkalmazhatóságuk és pontosságuk eltér.



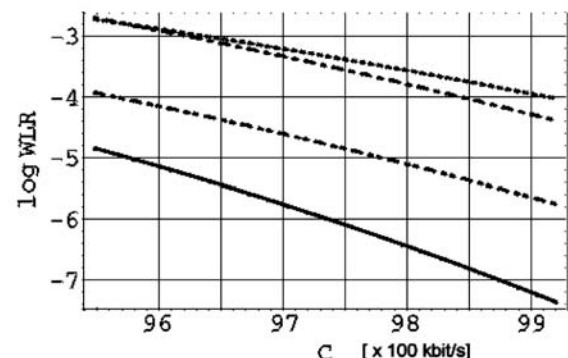
2. ábra Linkszaturációs valószínűség korlátok, K1



3. ábra Csomagvesztési arány korlátok, K1



4. ábra Linkszaturációs valószínűség korlátok, K2



5. ábra Csomagvesztési arány korlátok, K2

Numerikus vizsgálatainkat a sávszélességigény-becslő eljárásokra is elvégeztük. Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy az esetek többségében az újonnan bemutatott, sztochasztikus sorbarendezen alapuló momentumgeneráló függvény korláttal alkalmazott ekvivalens kapacitás becslések adják a legpontosabb eredményt.

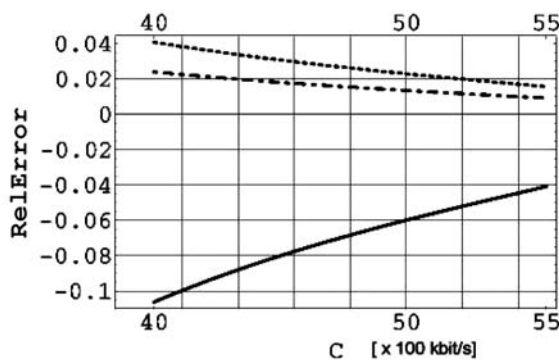
Abban az esetben viszont, ha a számításigény és a döntési sebesség fontosabb a sávszélesség minél hatékonyabb kihasználásánál, egyszerűsége miatt továbbra is a jól ismert Hoeffding-féle (8) felső korlát alkalmazását javasoljuk.

Irodalom

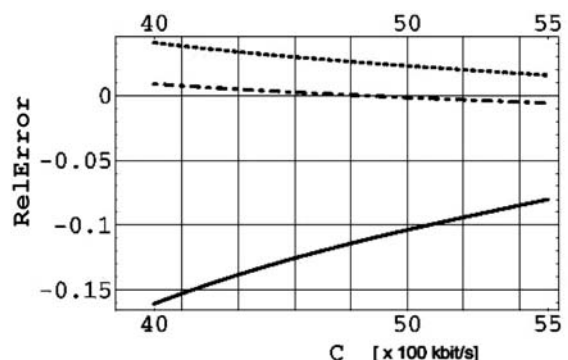
[1] C. Bouchat, S. van den Bosch, T. Pollet, „QoS in DSL Access”, IEEE Communications Magazine, Vol. 41, no.9, Nov. 2003, pp.108–114.
 [2] W. Hoeffding, „Probability Inequalities for Sums of Bounded Random Variables”, Journal of the American Statistical Association, 58:13–30, March 1963.
 [3] Z. Heszberger, J. Zátanyi, J. Bíró, „Efficient Chernoff-based Resource Assessment Techniques in Multi-service Networks”, Telecommunication Systems, 20(1):59–80, 2002.

[4] G. Mao, D. Habibi, „Loss Performance Analysis for Heterogeneous On-Off Sources with Application to Connection Admission Control”, IEEE/ACM Transactions on Networking, 10(1):125–138, 2002.
 [5] R. R. Bahadur, R. Rao, „On Deviations of the Sample Mean”, Ann. Math. Statis., 31(27):1015–1027, 1960.
 [6] J. Y. Hui, „Resource Allocation for Broadband Networks”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 6(9):1598–1608, Dec. 1988.
 [7] M. Montgomery, G. de Veciana, „On the Relevance of Time Scales in Performance Oriented Traffic Characterizations”, Proc. of the Conference on Computer Communications, Vol. 2, pp.513–520, San Francisco, USA, March 1996.
 [8] J. Bíró, Z. Heszberger, F. Németh, M. Martinecz, „Bandwidth Requirement Estimators for Quality of Service Packet Networks”, Proceedings of the International Network Optimization Conference, pp.95–100, Evry, Paris, Oct. 2003.

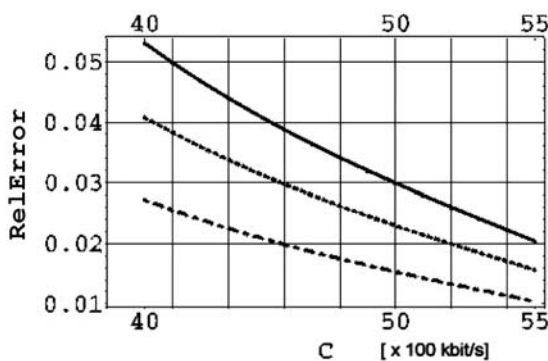
* A szerzőt az ETIK (www.etik.hu) támogatta



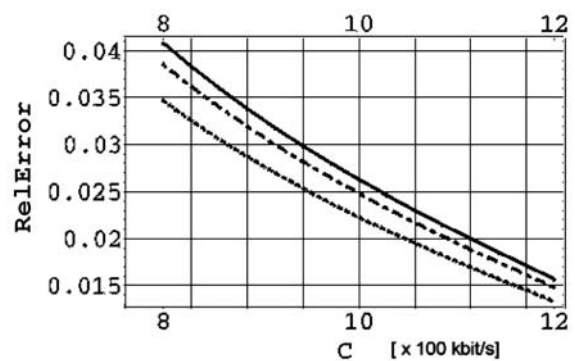
6. ábra $\tilde{C}_{equ,sat}^{B-R}$ becslések relatív hibája, K1



7. ábra $\tilde{C}_{equ,sat}^{B-R}$ becslések relatív hibája, K2



8. ábra $\tilde{C}_{equ,WLR}^{B-R}$ becslések relatív hibája, K1



9. ábra $\tilde{C}_{equ,WLR}^{B-R}$ becslések relatív hibája, K2