

# NGN szolgáltatások sávszélesség-menedzsmentje LAN/MAN környezetben

GÁL ZOLTÁN

Debreceni Egyetem Tudományegyetemi Karok, Informatika Technológiai Központ  
zgal@unideb.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** NGN, TCP, UDP, kodek, QoS, DiffServ, önhasonlóság, wavelet, fraktál, entrópia

Az NGN (Next Generation Network), konvergens infokommunikációs hálózatokkal szemben támasztott elvárások a jelfolyamok továbbítása közben szolgáltatásminőségi (QoS) garanciák betartását igénylik. LAN/MAN környezetben a valós idejű és a hagyományos adatforgalmak protokoll adatalelemeinek osztályozásához a QoS mechanizmusok közül leggyakrabban a DiffServ-et alkalmazzák. Kézenfekvő kérdésként vetődik fel a késleltetésre és késleltetés-változásra leginkább érzékeny IP telefonok VoIP forgalmának viselkedése különböző hangkódoló/dekódoló megoldások alkalmazása esetén. Az analóg hang-jelfolyam digitalizálását és szűrését végző kódolók közül a G.711, a G.723, a G.728, a GSM, és a Wideband (G.722) szabványok által generált Ethernet adatforgalmak vizsgálatára került sor. Másfél évtizede ismeretes, hogy LAN környezetben a TCP-re épülő hagyományos szolgáltatások (http, ftp, telnet stb.) önhasonló, fraktál és multifraktál tulajdonságúak. A cikkben elemezzük az UDP-re épülő, az utóbbi időben egyre inkább elterjedő telefon-hangátviteli mechanizmusok Ethernet forgalom önhasonlóságára gyakorolt hatását. Ehhez megvizsgáljuk az IP telefonok UDP forgalmát torlódásos, illetve torlódásmentes környezetekben a wavelet analízis és az entrópia módszereivel. A saját elemzési módszert VoIP forgalmak jellemzéséhez használjuk fel.

## 1. Bevezetés

A jelenlegi és az ITU-T NGN (Next Generation Network) kommunikációs hálózatainak egyik legfontosabb időkritikus szolgáltatása a hangátvitel. A hang csomagkapcsolt hálózat feletti továbbításához a VoIP (Voice over IP) technológiát fejlesztették ki, amely az utóbbi években radikálisan megváltoztatja a telefontársaságok szolgáltatásainak áralkulációját és a felhasználók hívásszokásait is. Mivel a VoIP hatékonyan veszi igénybe az Internet-alapú hálózati infrastruktúrát, így képes megközelíteni a hagyományos áramkörkapcsolt PSTN telefonrendszerek szolgáltatási minőségét.

Mivel az IP hálózatok „best-effort” továbbítási mechanizmusa nem képes a késleltetésre érzékeny hangtovábbításhoz megfelelő garanciákat biztosítani, a VoIP sikeres működtetéséhez a végfelhasználói berendezések között QoS (Quality of Service) technikák alkalmazására van szükség. A különböző QoS mechanizmusok optimális kiválasztásához LAN környezetben meg kell vizsgálni a hang- és egyéb adatok aggregált forgalmának modellezéséhez szükséges jellemzőket. A hangforrásból származó hálózati forgalom szignifikánsan függ az alkalmazott hangkódoló-dekódoló (kodek) típusától. A szakirodalom a hangkodekeket két csoportba sorolja. Az egyik csoportba a konstans bitsebességű továbbítási mechanizmusok (pl. G.711), míg a másik csoportba a csend elnyelésére, valamint aktív (ON) és inaktív (OFF) szakaszok periodikus ismétlődésére alapozó mechanizmusok (pl. G.728, GSMFR, G.722) tartoznak [4].

A csomagkapcsolt adatátvitel modellezésére általában jellemző, hogy csak a keretek beérkezési időpillanatainak idősorát, mint sztochasztikus folyamatot vizsgálják [5]. Jólal kevesebb azon vizsgálatok száma, melyek

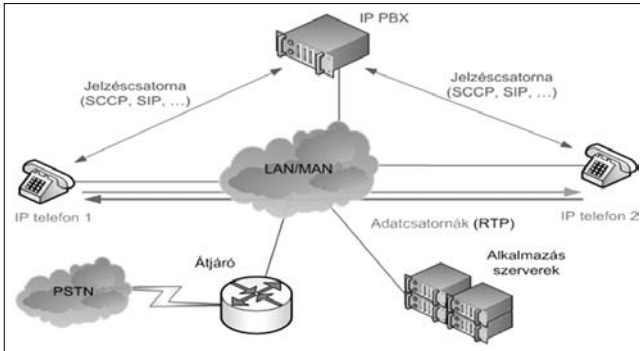
során figyelik a keret bájtban mért hosszát is, és e két folyamat együttes elemzésével magyarázzák a PDU-k továbbítását [6].

Jelen cikk célkitűzése, hogy a csomagkapcsolt hálózati mechanizmusok valós idejű szolgáltatásai számára szükséges QoS megoldások viselkedésének bemutatásához a beérkezési időközök és a keretméretek együttes elemzését elvégezze. Mivel a csatorna sávszélessége két szomszédos hálózati eszköz között technológiától és rögzített, ezáltal a bájtszámban kifejezett keretméret egy lineáris leképezéssel könnyen az idődimenzióba konvertálható. ON/(ON+OFF) transzformáció segítségével csatornaterhelés- és intenzitás-idősorunk keletkezik, ami együttesen előnyösen elemezhető.

## 2. Hangkodekek VoIP és IP telefónia környezetben

A korszerű, csomagkapcsolt telefonrendszer nemcsak az IP forgalomra képes telefonvégpontokat foglalja magába, hanem a jelzésrendszerért, a kapcsolatok felépítéséért és a forgalom elszámolásáért felelős alkalmazás szervereket is. A végpont foglaltságára, illetve annak mértékére vonatkozó jellemzők nyilvántartása a hívásmenedzsmentért felelős szerverben történik (1. ábra).

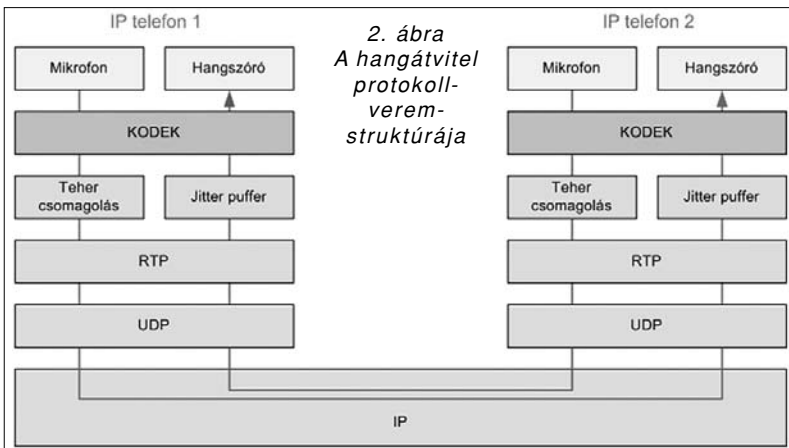
Különböző típusú jelzésrendszerek (SSCP, SIP stb.) léteznek, amelyek intelligensebbek, mint a hagyományos telefonhálózaton alkalmazottak (pl. QSIG). A hangtartalom átvitele RTP (Real Time Protocol) protokoll segítségével történik, amely a szerverek tevékenysége nélkül az adathálózaton közvetlenül a végpontok között zajlik. A jelzéseket TCP, a digitalizált hangot pedig UDP protokoll szállítja.



1. ábra IP telefon és VoIP

A régi PSTN telefonhálózatok irányába átjárók biztosítják a kapcsolatot, amelyek úgy a jelzésrendszer konverzióját, mint a csomagkapcsolt és az áramkör kapcsolt hálózatok közötti hangtranszformációt képesek elvégezni. Az IP telefon végpontok üzenetekbe helyezik el a mintavételezett hangot és különféle optimalizációs eljárások alapján szegmenseket alakítanak ki (2. ábra). Az RTP protokoll a hangszegmens-sorozatot UDP-n továbbítja, amelyet vételi oldalon jitter puffer segítségével simít ki. A vevőkészülék dekódolja a szegmenseket és üzenetként adja át a telefon-alkalmazási szoftvernek.

A kodekek egy csoportja viszonylag kis, maximum 64 kbit/sec sávszélességet igényel. Ide tartoznak a G.711, G.723, G.728, GSM, amelyeket keskenysávú kodekeknek neveznek [4]. A jóminőségű hang továbbítása céljából kialakítottak szélesávú kodekeket is, mint a Brand-Voice32, G.722 stb. Az IP hangkodekek jellemző paraméterei a hang sebessége, a hangkeret időtartama, a hangkeret mérete, a hang IP csomagban történő továbbításának sebessége, valamint a hang késleltetésének ideje. A paraméterek a kodektől függenek, így a hangkeret időtartama 0,125 és 20 msec között, mérete 80 és 520 bájt között, az IP csomag sebessége 24 és 272 kbit/sec között, míg a hangkésleltetés 0,25 és 40 msec között van. A késleltetést nyolc mechanizmus befolyásolja: mintavételezés-pufferelés, kódolás, csomagolás, küldés, LAN feletti szállítás, fogadás-pufferelés, dekódolás és lejátszás. Az interaktivitás biztosításához a nyolc mechanizmus késleltetésének összege nem haladhatja meg a 200 msec (magas hangminőség), illetve a 400 msec (elfogadható minőség) időtartamot.



2. ábra A hangátvitel protokoll- szerkezetének felépítése

### 3. LAN/MAN QoS mechanizmusok

A különböző alkalmazások egymástól eltérő követelményeket támasztanak az adatforgalmat továbbító LAN hálózat felé. A generált forgalom erőforrás-igénye időben változó és általában szükséges, hogy a hálózat megfeleljen ennek az igénynek. Bizonyos alkalmazások többé vagy kevésbé toleránsak a forgalom késleltetésére, valamint a késleltetés változására. Továbbá néhány alkalmazás képes elviselni korlátokon belül adatvesztést, míg mások nem.

Ezek a követelmények a következő négy QoS-jellező paraméter segítségével kerülnek kifejezésre: *sávszélesség* – az alkalmazás forgalmának továbbítási sebessége; *lappangási idő* – az a késleltetés, amit egy alkalmazás a csomag kézbesítésénél képes elviselni; *jitter* – a lappangási idő szórása; *adatvesztés* – az elvesztett adatok százalékos aránya [7]. Mivel a hálózati erőforrások korlátosak, időtől függően a rendszer bizonyos részein a kerettovábbítási igények nem teljesíthetők. A QoS mechanizmusok az alkalmazások szolgáltatási igényének függvényében a hálózati erőforrások használatát szabályozzák. Ilyenek a dedikált sávszélesség allokálása, az előírt csomagvesztési jellemzők monitorozása, a torlódáskezelés és megelőzés, a forgalom formázása, valamint a forgalom prioritizálása.

Többfajta QoS mechanizmus létezik, mindegyik speciális környezetben képes optimálisan kifejteni hatását. A QoS nélküli FCFS (First Come First Served) mechanizmust „*best effort*”-nak nevezzük. Az *Intserv* forgalomkezelő mechanizmus két modulból álló szolgáltatáshalmaz, ezek a garantált, illetve az ellenőrzött terhelés szolgáltatások (Guaranteed Service, Controlled Load Service).

A garantált szolgáltatás a forgalom számára kvantálható mértéket és korlátos lappangási időt biztosít. Az ellenőrzött terhelés szolgáltatás megadott mértékű forgalom számára terheletlen hálózati környezetet emulál. Az *Intserv* szolgáltatások többsége az IETF RSVP-re (Resource Reservation Protocol), egy előre lefoglalásos típusú jelzésrendszerre épül. Mindegyik *Intserv* szolgáltatás vezérlési algoritmusokat definiál, amelyek az adott eszköznél befogadott forgalom mennyiségét határozzák meg anélkül, hogy romolna a szolgáltatás minősége. Az *Intserv* szolgáltatások nem használnak várakozásisor-algoritmusokat.

A *Diffserv* forgalomkezelő mechanizmus a hálózati rétegben fejti ki hatását. Az L3 protokoll adatelem fejrészében DSCP (Diffserv CodePoint) nevű mezőt helyez el. A végfelhasználói csomópontok és a routerek a *diffserv* hálózatba küldött forgalom minden egyes csomagját a megfelelő DSCP értékkel látják el. A *diffserv* hálózatban lévő routerek minden csomagra a DSCP érték alapján történő osztályozás szerint specifikus PHB (Per-Hop Behavior) várakozásisorkezelő algoritmust vagy ütemezőt alkalmaznak. A QoS tartomány bemeneti oldalán a hálózati interfésznek a következő műveleteket kell elvégeznie: osztályozás, szabá-

lyozás, jelölés (marking), valamint várakozási sorba helyezés (queueing). A kimeneti oldalon szükséges tevékenységek: a várakozási sorba helyezés és ütemezés, valamint a belső DSCP alapján kimeneti queue választása. A kimeneti interfészekon alkalmazott queue algoritmusok leggyakrabban: FIFO, FQ, WFQ, WRED, „tail-drop” és az LLQ. Fontos megjegyeznünk, hogy a QoS minőségi modellek fejlődése során a hangátvitelt a videóátvitelnél is kritikussabb alkalmazásnak tartják, ezért a nyolc közül a legmagasabb QoS osztályba sorolják.

#### 4. IP hálózatok teljesítménye, Corvil sávszélesség

A modern IP hálózatok alkalmazásainak teljesítményét három tényező befolyásolja: *sávszélesség, statisztikai multiplexelés* és a *QoS mechanizmusok* [3]. A sávszélesség megmérése egyszerű, mivel a gerinchálózati eszközök (router, switch) SNMP (Simple Network Management Protocol) MIB (Management Information Base) objektumokban képesek letárolni az öt perces átlagértéket.

Az így rendelkezésre álló adatok a hálózaton átfolyó forgalom mértékét képesek megadni, de nem mérik meg az alkalmazások előírt működéséhez szükséges sávszélességet. A csomagvesztés és a jitter lényegesen függ a forgalom ms szintű viselkedésétől. Nincs elegendő rálátás a forgalomra, ezért az alkalmazások teljesítménye nem látható előre. Közepes méretű hálózatban a VoIP alkalmazásnál a lappangás és a jitter csak  $n \cdot 10$  ms nagyságrendű lehet. Adott forgalmakkal kapcsolatos gyakorlati tapasztalatok empirikus szabályok kidolgozásához vezettek. Ilyen szabály az is, amely szerint a „best effort” IP szolgáltatásoknál a 95%-os öt percenkénti terhelés az erőforrások használatának csak 60%-ában ajánlatos. Ha a forgalom ezt a küszöbértéket meghaladja, akkor az infrastruktúra bővítése szükséges. A fenti százalékok „érzés” szerintiek, de nem általánosíthatók tetszőleges hálózati szolgáltatások esetén. Tapasztalat alapján VoIP számára 60% helyett 40% javasolt.

A hálózati szolgáltatók hatékony eszköze a *statisztikai multiplexelés* nyeresége, amely a csomagkapcsolt hálózatokban az erőforrások véletlenszerű megosztását jelenti. Például, ha tíz videócsatornát áramkörkapcsolt hálózaton kellene továbbítani, akkor pontosan egyetlen csatorna sávszélességének tízszeresére lenne szükség. Ugyanez csomagkapcsolt hálózatban a tízszeresnél jóval kevesebb sávszélességet igényel. Ennek magyarázata, hogy az egyik csatorna rövid időskálájú borsztje nagy valószínűséggel más csatornaforgalom hiányával esik egybe, így az aggregált forgalom simítottabb, mint bármelyik egyedi folyam. A folyamonkénti sávszélességek összege és az aggregált sávszélesség különbségét a statisztikai multiplexelés nyereségének nevezzük, ami egyben az IP hálózatok hatékonyságát is jellemzi.

A forgalomsimítás, a policing és a különböző várakozási sorkezelés a leghatékonyabb *QoS mechanizmusok*. A robusztus statisztikai megbízhatósághoz szükséges sávszélesség méretezése, az előírt statisztikai mul-

tiplexelési nyereség nyújtása, valamint a QoS mechanizmusok konfigurálása két, nehezen eldönthető választási mód egyikével lehetséges: kihozható a legnagyobb nyereség az elérhető minőség biztosítása árán, vagy megcélozható az előre látható teljesítmény nyújtása a hálózat erőforrásainak túldimenzionálásával. Az első választási mód esetén speciális szolgáltatások nem nyújthatók, míg a második választási módnál költséges hálózati rendszer szükséges.

A hálózati forgalom bizonytalanságának megnyilvánulási jellemzője a három alapvető összetevő közötti összefüggés nem-determinisztikus viszonya [3]. A hálózat sávszélessége, a forgalom terhelése és a QoS célok lényegében összefüggnek. Egyik módosítása befolyásolja a másik kettő közötti kapcsolatot. Így például adott késleltetés garantálásához szükséges sávszélesség nemcsak a hálózat terhelésétől, de a forgalom típusától (VoIP, adat) is függ. Az alábbi összefüggés választ ad arra a kérdésre, hogy a hálózat milyen minőséget nyújt a rajta folyó forgalom számára:

$$\text{Minőség} = F_Q(\text{Hálózat}, \text{Forgalom}) \quad (4.1)$$

Ez az alapvető összefüggés kiemeli azt a tényt, hogy a minőség nem csak a hálózat konfigurációjától, hanem a forgalom mennyiségétől és jellegétől is függ. A 4.1. összefüggés két másik kérdést is implikál.

Először: milyen hálózati erőforrások szükségesek a forgalmak előírt minőségéhez? Ha a kérdéses erőforrás a sávszélesség, az alapvető összefüggés az alábbi lesz:

$$\text{Sávszélesség} = f_B(\text{Hálózat}, \text{Minőség}) \quad (4.2)$$

Másodszor: adott hálózati erőforrás készlet esetén mennyi forgalom továbbítható anélkül, hogy a minőség lényegesen romolna? Erre a választ az alábbi alapvető összefüggés adja:

$$\text{Forgalom} = f_T(\text{Hálózat}, \text{Minőség}) \quad (4.3)$$

A fenti viszonyokat figyelembe kell venni ahhoz, hogy a minőségi szint megtartása mellett a hálózat kihasználtságának minél magasabbra emeléséhez áteresztő-vezérlő mechanizmusokat lehessen kidolgozni. A Corvil sávszélesség technológia a fenti három egyenlet adott környezetben történő megoldására ad nem-nyilvános módszert. Ehhez az adott forgalmak mérésére van szükség, amiből erőforrás-méretezési ajánlások származtathatók.

A sávszélesség a legegyszerűbb, legjobb érthető és legkönnyebben méretezhető a fenti három komponens közül. A minőség viszonylag egyszerűen definiált és mért jellemző. A mai legtöbb SLA (Service Level Agreement) rögzíti a csomagvesztési, illetve a késleltetés-paramétereket, amelyeket heti vagy havi időskálán mérnek. Ezek túlságosan durva értékek az értelmes alkalmazások teljesítményének garantálásához.

A csomagforgalmak mérése nem elég részletes mánapság, ami korlátozza a legjobb gyakorlatok kialakításának lehetőségét. A hálózati forgalom minősége erőteljesebben függ az eseményektől, mint amit az SNMP-vel (Simple Network Management Network) egyszerű átlagolással mérnek. A mennyiségi részletek gyakran borszt-

ként jelennek meg. Ismeretes, hogy minél börsztözebb egy forgalom, annál több sávszélesség szükséges a hullámzás szabályozásához, ugyanakkor analitikusan nem számszerűsíthető a sávszélesség, a forgalom és a minőség közötti pontos viszony.

A *Corvil sávszélesség* (CB, Corvil Bandwidth) technológia a nagy kilengések statisztikai elméletre épül, amely a megfigyelt rendszer kulcsfontosságú statisztikai jellemzőit, entrópiáját vizsgálja. A sorbanállás elméletben egy csomagfolyam entrópiája azt írja le, hogy miként jönnek létre várakozási sorok a hálózati eszközökben, illetve hogyan történik a várakozási sorokban és az ütemezőkben a multiplexelés más csomagfolyamokkal.

$$CB = f_Q(\text{Corvil entrópia, QoS}) \quad (4.4)$$

Interfészek vagy forgalomosztályok CB méretezéséhez az alábbi irányelvek léteznek: várakozási sor késleltetésének (0,001...1 s) és méretének (1...2000 csomag) küszöbértéke; védett csomagok százalékos aránya (1...100%, 0,0001%-os lépésekben); védelmi irányelv alkalmazásának periódusa (5 perc; 1, 2, 4 óra; 1 nap; 1 hét). Ha öt perces periódussal készül a CB mérése, akkor ez összehasonlítható a szabványos hálózatmonitorozó eszközök által SNMP-vel mért sávszélességgel. Az alapvető különbség az, hogy a CB öt percenkénti mérése figyelembe veszi az ezredmásodperc szintű tulajdonságokat is, így a valós sávszélességigény a csomagtovábbítás késleltetése és a csomagvesztés mértéke függvényében határozható meg.

### 5. Önhasonló folyamatok wavelet analízise

A valós értékű  $\{Y(t), t \in \mathbf{R}\}$  folyamat  $H > 0$ , Hurst paraméterű önhasonló (H-ss), ha  $\forall a > 0$  esetén  $Y(at) \stackrel{\text{def}}{=} a^H Y(t)$ . A valós értékű  $\{Y(t), t \in \mathbf{R}\}$  folyamat H-sssi, ha  $H$  paraméterű önhasonló és stacionárius növekményű. Ha  $\{Y(t)\}$  H-sssi véges szórású, akkor  $0 < H \leq 1$ . Diszkrét időben képezett növekménysorozat előállítható az  $X_k = Y(k) - Y(k-1)$ ,  $k = 1, 2, \dots$  módon.

Legyen  $X^{(m)}$ , illetve  $r^{(m)}(\cdot)$  az  $X$  m-agregált idősora, illetve annak autokorrelációs függvénye, ahol

$$X_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=(k-1)m+1}^{km} X_i.$$

$0 < H < 0,5$  esetén a folyamat rövid memóriájú (SRD),  $0,5 < H < 1$  esetén pedig hosszú memóriájú (LRD). Ha a fo-

lyamat LRD, akkor a növekményfolyamat autokorrelációs függvényének alakja a következő:

$$r(k) = \frac{1}{2} [(k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}].$$

Pontosan önhasonló folyamat esetén az aggregált növekményfolyamat szórása

$$\text{var}(X^{(m)}) = m^{2H-2} \text{var}(X), \text{ és } r^{(m)}(k) = r(k).$$

Megfigyelhető, hogy LRD esetén  $\text{var}(X^{(m)}) > m^{-1} \text{var}(X)$ , míg SRD esetén  $\text{var}(X^{(m)}) < m^{-1} \text{var}(X)$ .

Az  $X$  folyamat aszimptotikusan önhasonló, ha elég nagy  $k$  esetén  $\lim_{m \rightarrow \infty} r^{(m)}(k) = r(k)$ .

A diszkrét wavelet-transzformáció (DWT) egy idő-frekvencia felbontás, amely az  $n$  hosszúságú  $X$  idősorhoz kétváltozós együtthatókat rendel a következő módon [1]:

$$d_{j,k} = \int X(s) \psi_{j,k}(s) ds, \quad j \in \mathbf{Z}, k \in \mathbf{Z} \quad (5.1)$$

ahol a wavelet-ek alakja a következő:

$$\psi_{j,k}(s) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad (5.2)$$

Több fajta elemi hullámfüggvény létezik és mindegyikre igaz az alábbi:

$$\int t^k \psi(t) dt \equiv 0, \quad \forall k = 1, 2, \dots, N-1 \quad (5.3)$$

A wavelet-felbontás a speciális elemi hullámfüggvények és a  $d_{j,k}$  együtthatók lineáris kombinációja az alábbi módon:

$$X(t) = \sum_{j \in \mathbf{Z}} \sum_{k \in \mathbf{Z}} d_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (5.4)$$

A wavelet-együtthatók felhasználhatók az LRD folyamat skála-, illetve frekvenciafüggő tulajdonságának tanulmányozására.

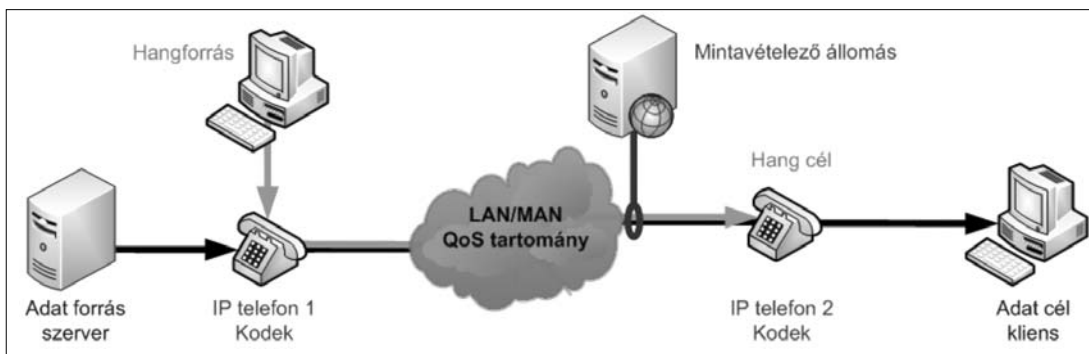
A másodrendű Log-skála diagram (2-LD) a becsült második momentum  $j$ -oktáv függvényében készített Log-lineáris grafikonja:

$$\mu_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} |d_{j,k}|^2 \approx 2^{j(2H-1)}, \text{ ahol } n_j = 2^{-j}n \quad (5.5)$$

A wavelet együtthatók  $k$  szerinti négyzetösszegének átlagát az idősor  $\mu_j$  energiafüggvényének nevezik. Ennek logaritmususa a (4.5) alapján a  $j$ -oktáv lineáris függvénye lesz.

$$y_j = \log_2(\mu_j) \approx (2H-1)j + c \quad (5.6)$$

A Hurst paraméter becsléséhez a 2-LD lineáris szakaszt vagy szakaszait lehet felhasználni. Ha több lineáris szakasz különíthető el, akkor a folyamat multifraktál, egyébként monofraktál.



3. ábra VoIP kapcsolatok mérési környezete

A súlyozott legkisebb négyzetek módszerével (WLS) becsülhető a  $[j_1, j_2]$  lineáris oktáv szakaszhoz tartozó Hurst paraméter az alábbi módon [1]:

$$\hat{H}(j_1, j_2) = \frac{1}{2} \left| \frac{\sum_{j=j_1}^{j_2} S_j j y_j - \sum_{j=j_1}^{j_2} S_j j \sum_{j=j_1}^{j_2} S_j y_j}{\sum_{j=j_1}^{j_2} S_j \sum_{j=j_1}^{j_2} S_j j^2 - (\sum_{j=j_1}^{j_2} S_j j)^2} + 1 \right|, \tag{5.7}$$

ahol  $S_j = \frac{n \ln^2 2}{2^{j+1}}$  súly.

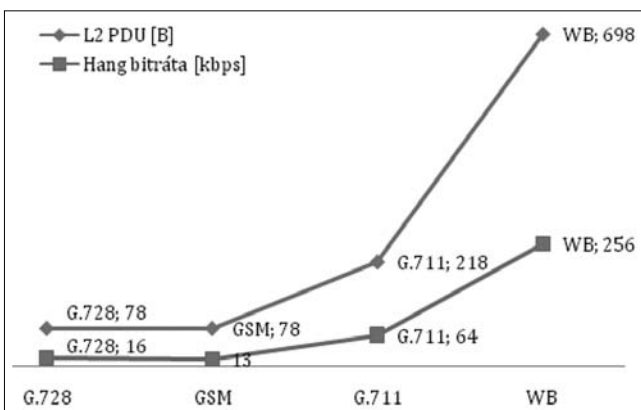
## 6. Mérési környezet és a mért folyamatok elemzése

a.) VoIP kapcsolatok forgalomelemzését torlódásos környezetben végeztük. Az adatforrás és adatcél gépek között mesterségesen (T) TCP, illetve (U) UDP adatforgalmat generáltunk, amellyel a 10 Mbit/sec Ethernet csatorna rendelkezésre álló kapacitását teljesen kitöltöttük. Az IP telefonok LAN kapcsolatán a hangforgalom és az adatforgalom egyaránt továbbítódott (3. ábra).

Egyenként egy perces (H) hard rock (Limp Bizkit – Eat You Alive), illetve (P) zongora (W. A. Mozart – Concert for horn and orchestra KV KV 285d C major Adagio non troppo) zeneszámokat játszottunk le a hangforráson, amit az 1-es IP telefonról a 2-es IP telefonra küldtük át. Különböző hangkodekeket (G.728, GSM, G.711, WideBand-G.722) alkalmaztunk, miközben a LAN QoS tartományon belül csak a hangforgalom QoS paramétereit szabályoztuk (DSCP=(0x00-”best-effort”, 0x02-alacsony ár, 0x04-megbízható, 0x08-teljesítmény, 0x10-kis késleltetés) szempontok alapján. A nyolcvan darab idősort a szállítási réteg protokolljának típusa, a hangműsor dinamikája, a kodek típusa és a hangforgalom DSCP változtatásával állítottuk elő és Wireshark program segítségével 1 µsec pontossággal mintavételeztük: [(T,U) x (H,P) x (G.728, GSM, G.711, WB) x (0,2,4,8,16)] = 2 x 2 x 4 x 5 = 80.

b.) VoIP gerinc torlódásmentes környezetben mért forgalmát elemeztük. Ehhez mintavételeztük egyetemi környezetben munkanapon, délelőtti időszakban 1500 darab IP telefon populáció IP/PBX gateway felé haladó hang VLAN aggregált forgalmát. A hang-gerinchálózat számára rendelkezésre álló 100 Mbps-os Ethernet kapcsolaton a mintavételezés egy órán át tartott és 1 µsec pontossággal készült.

4. ábra Kodek jellemzők



Mindkét mérési környezetben a mintavételezés során az Ethernet-keretek beérkezési időközét, valamint bájttban kifejezett méretét használtuk fel. A hangforgalom esetén az IP csomagok sohasem fragmentálódtak, mivel az Ethernet MTU=1500 bájttal. A keretméretet egyszerű lineáris transzformációval az idő dimenzióba konvertáltuk át, ami lehetővé tette az  $L_i$ , átlagos keret továbbítási időtartam (ON), illetve a  $\tan(\varphi_i)$ , csatornaterhelés idősorok kiszámolását. A mintavételezés periódusa,  $T = T_{ON} + T_{OFF}$  rögzített időtartam és az összes mérés esetén  $T = 100$  ms.  $M_j$  jelöli  $T$  időközönként beérkezett keretek számát (számoosság, intenzitás).

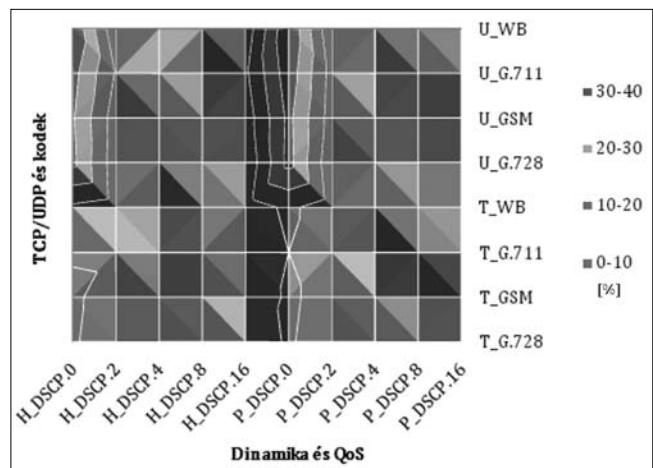
Ezáltal egyszerűen kiszámolhatóvá válik a hangforgalom pillanatnyi csatornaterhelése, illetve fázisa az alábbi módon

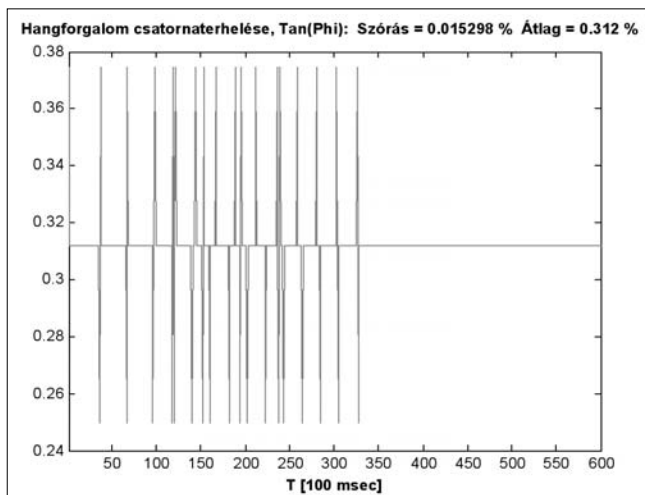
$$\left. \begin{aligned} M_i, \text{ Számoosság, intenzitás} \\ L_i, \text{ Keret továbbítási idő} \\ D_i = \sqrt{L_i^2 + T^2}, \text{ Négyzetes átlagidő} \\ \tan(\varphi_i) [\%] = \frac{L_i}{T} * 100, \text{ Terhelés} \\ \varphi_i [\text{Rad}] = \tan^{-1} \frac{L_i}{T}, \text{ Fázis} \end{aligned} \right\} \tag{6.1}$$

VoIP torlódásos környezet számára a négy fajta kodek jellemzőit a 4. ábra, a nyolcvan darab számoosság-idősor relatív szórását pedig az 5. ábra szemlélteti. A hang csatornaterhelésének relatív szórása gyakorlatilag megegyezik a számoosság relatív szórásával. Az 5. ábrán a sötétebb színek a kisebb értékeket, a világos színek a nagyobb értékeket jelzik.

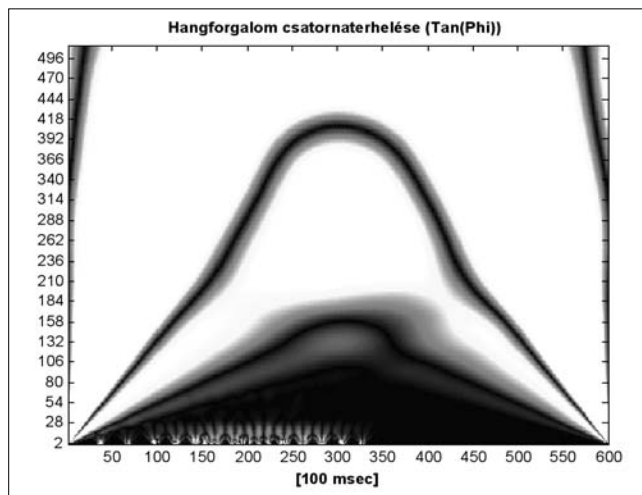
Megfigyelhető, hogy DSCP=0 („best effort”) és TCP adatforgalom esetén a G.711 kodekkel meghajtott hangforgalom intenzitásának relatív átlagos szórása alacsony, míg a többi kódolónál ez jelentősebb és elérheti akár a 20%-ot is (GSM). Ugyanakkor QoS-biztosítás esetén, azaz a hangforgalom prioritással való kezelésénél a relatív szórás mindegyik kodeknél alacsony marad. Az UDP adatforgalom esetén nagyobbak a terhelés relatív szórásai, míg TCP adatforgalom esetén ezek kisebb értéket mutatnak. Ezt a TCP folyamszabályozó mechanizmusa okozza, amely torlódott csatornán a TCP adatforgalmat az UDP hangforgalom javára kisebbre és egyenletesebbre simítja. Az UDP adatforgalom esetén nincs adat-

5. ábra Számoosság, intenzitás (M)

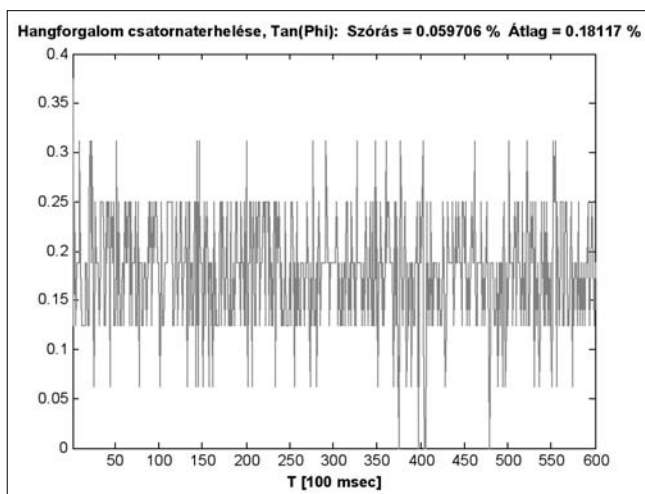




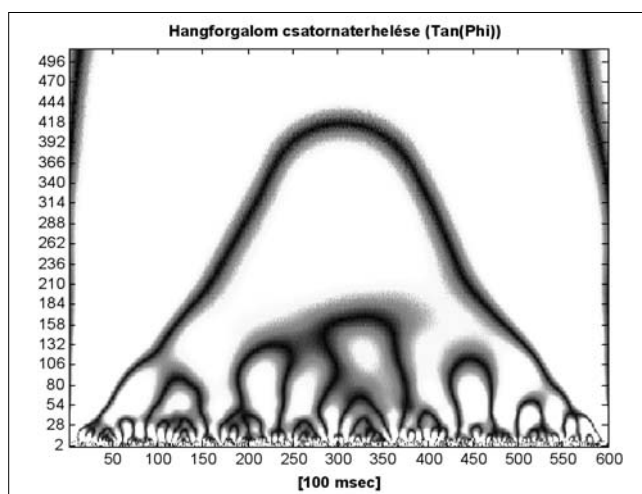
6. ábra Csatornaterhelés, Tan(Phi)  
(UDP, G.728, QoS nincs, Hard Rock)



7. ábra Wavelet transzformált, Tan(Phi)  
(UDP, G.728, QoS nincs, Hard Rock)



8. ábra Csatornaterhelés, Tan(Phi)  
(UDP, G.728, DSCP=8, Piano)



9. ábra Wavelet transzformált, Tan(Phi)  
(UDP, G.728, DSCP=8, Piano)

folyam szabályozás, így a QoS nélküli hangforgalom számára nagyobb szórások tapasztalhatók. A hangforrás dinamikája csak az alacsony bitsebességű kodekknél okoz észrevehető terheléskülönbséget.

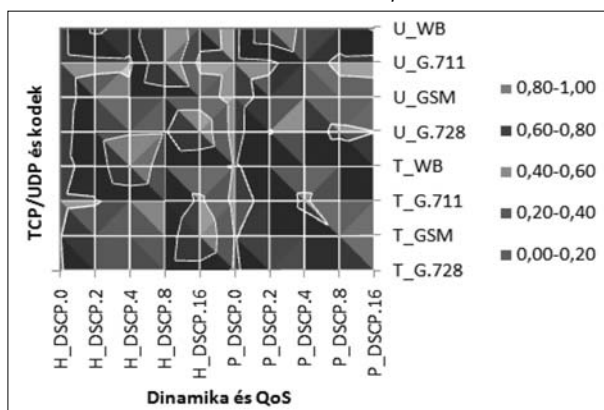
1. táblázat Becsült H paraméter Tan(Phi) esetén

	T G.728	T GSM	T G.711	T WB	U G.728	U GSM	U G.711	U WB
H_DSCP.0	0,86	0,87	0,79	0,59	0,92	0,91	0,73	0,57
H_DSCP.2	B	B	0,73	0,76	B	B	0,75	0,93
H_DSCP.4	B	B	0,83	B	B	B	0,80	0,81
H_DSCP.8	B	B	0,74	0,76	B	B	B	B
H_DSCP.16	B	B	B	0,74	B	B	0,77	0,79
P_DSCP.0	0,87	0,85	0,78	0,57	0,91	0,89	0,72	0,56
P_DSCP.2	B	B	0,83	0,77	B	B	0,80	B
P_DSCP.4	B	B	B	0,79	B	B	0,96	0,82
P_DSCP.8	B	B	0,75	0,77	B	B	0,78	0,81
P_DSCP.16	B	B	0,74	0,81	B	B	0,76	0,90

A 6–9. ábrák a csatornaterhelés idősorokat, valamint ezek wavelet-transzformáltját mutatják UDP adatforgalom, G.728 kodek, „best-effort”/QoS és hard rock/piano zene feltételek mellett. Annak ellenére, hogy a két idősor jellege hasonlít egymásra, a lényeges különbséget a wavelet transzformált érzékelteti szemléletesen.

Az 1. táblázat, illetve a 10. ábra a nyolcvan különböző esetben vizsgált csatornaterhelés, illetve intenzi-

10. ábra Becsült H paraméter M esetén



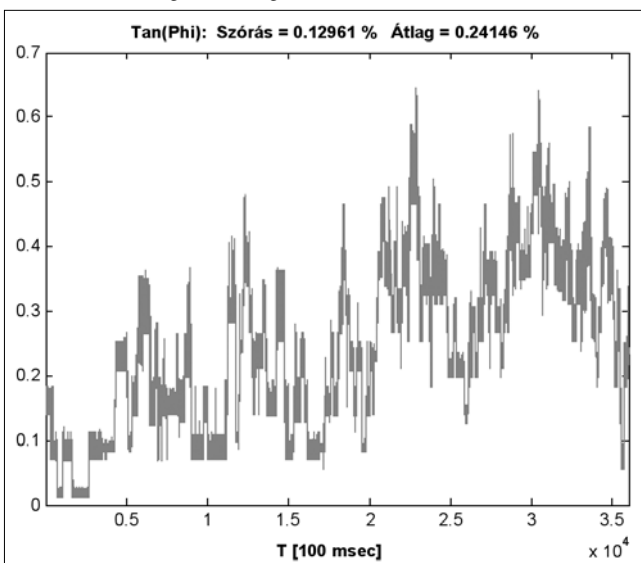
tás wavelet-módszerrel becsült Hurst-paraméterét mutatja. Úgy TCP, mint UDP adatforgalmak esetén a QoS mechanizmussal szabályozott hangforgalom csatornaterhelése G.728 és GSM kódolóknál nem mutat ön hasonlóságot, ami miatt a becsült H paraméter egynél nagyobb. Ezzel ellentétben a G.711 és a G.722 (WB) az esetek többségében önazonos és hosszú memóriájú (LRD).

A hangforrás dinamikájától és a torlódást okozó adatforgalom szállítási réteg protokolljától (UDP/TCP) függetlenül a QoS nélküli („best effort”) esetekben a hangforgalom csatornaterhelése önazonos (H-SSSI) és hosszú memóriájú (LRD), a becsült Hurst paraméter  $\hat{H} \in [0.56, 0.91]$ . Megfigyelhető, hogy a kodek sávszélességével ellentétes irányban változik a torlódott hangforgalom csatornaterhelésének becsült Hurst paramétere (lásd 4. ábra és 1. táblázat). A mérések során a fogadó oldalon tapasztalt hang minősége a nagyobb sávszélességű kodekek esetén jobb volt, ugyanakkor a QoS mechanizmusok alkalmazása, azaz  $DSCP \neq 0$  esetén a hang torlódása kevésbé volt érzékelhető.

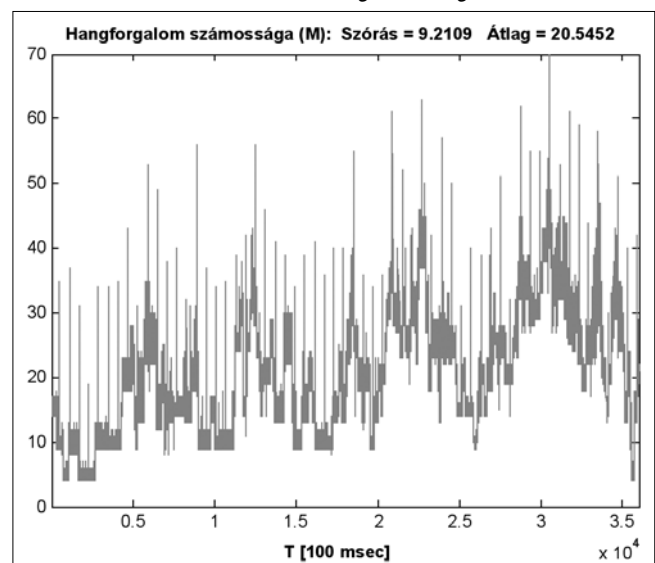
Az intenzitás idősorok is LRD típusúak és minden esetben  $\hat{H} \in [0.52, 1]$ . Megfigyelhető, hogy az adatforgalom szállítási réteg protokolljától függetlenül, QoS nélküli esetekben, a hangforgalom intenzitásának becsült Hurst-paramétere, a 0.5 értéket csak kis mértékben lépi túl:  $\hat{H} \in [0.51, 0.6]$  (lásd 10. ábra). G.711 kodek esetén csak a dinamikus hang és  $DSCP=8$ , teljesítmény-optimizálási QoS mechanizmus ad az intenzitás  $\hat{H}$  paramétere számára magas értéket. A dinamikus hangforgalom intenzitásának  $\hat{H}$  értéke nagyobb, mint a dinamika nélküli hang esetén (lásd 10. ábra.)

VoIP torlódásmentes környezet számára a 11-12. ábrák aggregált IP hangforgalmak által generált csatornaterhelését, illetve intenzitását, míg a 13-14. ábrák ezeknek az (5.7) szerinti 2-LD grafikonját mutatja be. Habár a csúszó átlagok korrelációt mutatnak, az intenzitás idősor helyi maximumai miatt a két idősor jellege lényegesen különbözik egymástól.

11. ábra VoIP gerincforgalom csatornaterhelése



12. ábra VoIP gerincforgalom intenzitása



A csatornaterhelés 1 másodperces csúszó átlagai nagyon jól mutatják az egyidejű beszélgetések darabszámát, ami a grafikonok lépcsőzetességéből származtatható. A csatornaterhelés relatív szórása 53%, az intenzitása pedig annál kisebb, csupán 44%. A kisebb értéket az intenzitás helyi maximumai okozzák. A VoIP gerinc-hálózati hangforgalom is torlódásmentes állapotban multifraktál tulajdonságot mutat.

Addig, amíg a csatornaterhelésnél a wavelet-módszerrel becsült Hurst-paraméter,  $\hat{H}=0.88$  és kevésbé skálafüggő, addig az intenzitásnál ez,  $\hat{H}=0.61$  és nagyobb oktávoknál szignifikánsan változik (13-14. ábrák).

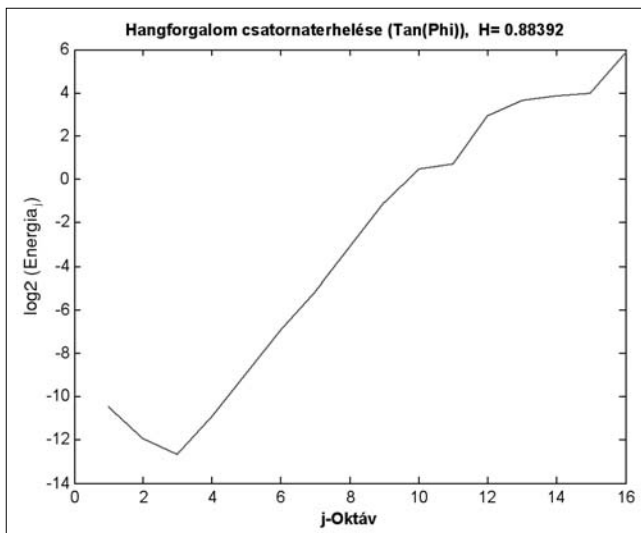
Mivel ebben az esetben torlódásmentes az Ethernet csatorna, ezért az aggregált hangkapcsolatok forgalma önazonos és hosszú memóriájú (LRD).

## 7. Összefoglalás és következtetések

A hangátvitel IP felett az egyik legkritikusabb valós idejű hálózati alkalmazás, üzemeltetése komplex feladat. A hangkodek típusa meghatározza a hangcsatorna minőségét. A VoIP hangcsatorna UDP-n működik, így nincs a szállítási rétegben visszacsatolás, nincs folyamatszabályozás és nincs hangkeretméret-változtatás sem. A kodek hangminősége függ a hangcsatorna bitsebességétől, valamint a csomagkapcsolt protokoll adatalemeinek méretétől is.

A vizsgált esetekben a hangkodekek növekvő minőségi sorrendje az alábbi: G.728, GSM, G.711, WB (G.722). Megállapítottuk, hogy LAN/MAN környezetben az L2/L3 hangforgalmak fraktálosodása torlódás esetén a hang minősége számára komoly romlást okoz. A csomagkapcsolt adat- és hangforgalom fraktál és skálafüggő tulajdonságának elemzéséhez kényelmes statisztikai eszközök biztosítják a wavelet-analízis.

A QoS egy másik síkban, szolgáltatásként jelenik meg az OSI rétegprotokollok számára és erőteljesen megváltoztatja a csomagkapcsolt protokollelemek további-



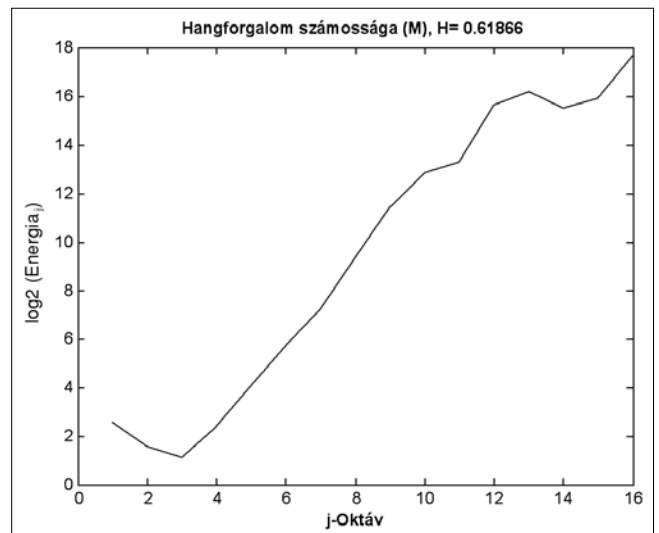
13. ábra VoIP gerincforgalom csatornaterhelés Hurst paraméterének wavelet becslése ( $\hat{H}$ )

tásának hagyományos értelemben vett önhasonló tulajdonságát. QoS segítségével mesterségesen szabályozott hangforgalmak továbbításánál az önhasonló, illetve LRD tulajdonságok érzékenyen befolyásolhatók. Ez új irányokat nyit meg a QoS-sel történő forgalomszabályozás területén.

További elemzések szükségesek a csomagkapcsolt protokoll adatalelemeinek csatornaterhelési, illetve intenzitás-jellemzőinek együttes alkalmazására vonatkozóan annak érdekében, hogy a gerinchálózati eszközökben a rendelkezésre álló véges hálózati erőforrások használatához a legoptimálisabb QoS konfigurációs beállításokat meg lehessen határozni. Ehhez a 10...100  $\mu$ s-os tartományban lezajló folyamatok statisztikai elemzésére van szükség, ahonnan kinyert entrópia jellemzőinek és makro-hatásának meghatározó fontossága van.

### A szerzőről

**GÁL ZOLTÁN** Gyergyószentmiklóson született 1966-ban. Temesváron diplomázott informatika-villamosmérnökként. 1991-től a Kossuth Lajos Tudományegyetem Informatikai Szolgáltató Központ munkatársa, 1994-től a Hálózatok Osztály vezetője, 2001-2005 között a Debreceni Egyetem Informatikai Szolgáltató Központjának, majd 2006-tól ugyanott a Tudományegyetemi Karok Informatikai Központjának igazgatója. Jelenleg az egyetem Informatikai Tudományok Doktori Iskolájának doktorjelöltje. Kiemelkedő szerepe volt a debreceni városi felsőoktatási hálózat (FDDI, ATM, 10GE) kiépítésében és fejlesztésében, a telekonferencia, valamint a VoIP/IP telefon szolgáltatások intézmény szintű bevezetésében. Érdeklődési területe a csomagkapcsolt infokommunikációs hálózatok minőségének elemzése. 1997-től tagja az IEEE Communications Society-nek, 2001-től az NIIFI Műszaki Tanácsának, 2003-tól pedig a Hungarnet Egyesület Elnökségének.



14. ábra VoIP gerincforgalom intenzitása Hurst paraméterének wavelet becslése ( $\hat{H}$ )

### Irodalom

- [1] Patrice Abry, Lois D'échelle, Multirésolutions et Ondelettes, Habilitation Travaux de Recherche, Université Claude Bernard Lyon, Mars 2001.
- [2] Corvil Ltd, Whitepaper: An Introduction to Corvil Bandwidth Technology, 2004.
- [3] Corvil Ltd, Whitepaper: Managing Performance in Financial Trading Networks, 2008.
- [4] T.D. Dang, B. Sonkoly, S. Molnár, Fractal Analysis and Modelling of VoIP Traffic, Proc. of NETWORKS 2004, Vienna, Austria, June 13-16, 2004.
- [5] Leland, W.E., Taqqu, M.S., Willinger, W., Wilson, D.V., On the self-similar nature of Ethernet traffic (ext.vers.), IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), Vol. 2, Issue 1, February 1994, ISSN:1063-6692.
- [6] Z. Gál, Gy. Terdik, E. Igloi, Multifractal Study of Internet Traffic, 2000 WSES International Conference on Applied and Theoretical Mathematics, Vravorona, Greece, December 1-3, 2000. <http://www.worldses.org>
- [7] Gál Zoltán, Balla Tamás, A QoS infokommunikációs alkalmazásokra kifejlesztett hatása, Híradástechnika, 2007/4, pp.7–16.