

Márkus Szabolcs

szabolcs.markus@hm.gov.hu

A HANG SÁVSZÉLESSÉG IGÉNYE AZ MH MPLS TRANSZPORTHÁLÓZATÁN

Absztrakt

Az Internet elterjedésével egyre nagyobb igény jelentkezik az IP hálózatokon üzemelő távbeszélő szolgáltatások iránt. Ez az érdeklődés a költséghatékonyságnak, a hangzatos tömörítéseknek és sávszélesség racionalizálásának köszönhető. A költséghatékonyság IP telefónia rendszer esetében már nem szignifikáns, mivel jelentős forrás igénye van az egyes rendszer elemeknek (hívásvezérlő, átjáró, alhálózat, rendszerkészülék, biztonsági elemek, stb.) A költségek racionalizálásához a hálózat átviteli kapacitásának optimalizálása, megfelelő méretezése is hozzájárul. Jelen publikáció az IP/MPLS technológia átviteli rendszereinek méretezéséhez elengedhetetlen hang átviteléhez szükséges sávszélességeket mutatja be. Vizsgálatra kerül, hogy az IPv6 bevezetésével milyen mértékű sávszélesség növekedéssel kell tervezni a fejlesztések során.

With the spread of Internet the demand of telephone services on IP networks continuously increases. This interest can be explained by the need for cost effectiveness, the occasionally overstated compression methods and the demand for rationalization of bandwidth. The cost effectiveness of IP telephony is not significant anymore due to the fact that the collateral elements of IP telephony have considerable costs originally (call controller, gateway, subnet, telephone sets, information assurance and security elements, etc.) The optimization of the network's transfer capacity and the network design contribute to the rationalization of costs as well. This publication delineates the bandwidth reservation request of voice traffic in IP/MPLS transfer systems. It will also be examined that how the bandwidth increment needs to be considered with the introduction of IPv6, which should be taken into account by network architects during planning and development of networks.

Kulcsszavak: *hang sávszélesség igénye, MH Transzporthálózat, szolgáltatás minőség, késleltetés, tömörítés, referencia modell, protokoll, Internet protokoll, Voice over IP, Multiprotocol Label Switching – MPLS, bandwidth of voice, HDF Transport Network, Quality of Service, delay, reference model, protocol.*

BEVEZETÉS

A Magyar Honvédség zártcélú hálózatának¹ fejlesztésével 2009. évben kialakításra került az MH MPLS alapú transzport-hálózata, valamint az MH Integrált Hang-adatátviteli rendszerének alapjai, ezen belül az MH IP alapú hangszolgáltatás pilot rendszere. Az MH Transzport-hálózata biztosítja az ország különböző pontjain települt katonai szervezetek részére az információs szolgáltatásokat (központilag biztosított szolgáltatások, célrendszerek szolgáltatásai). A központilag biztosított szolgáltatások közül kiemelt fontosságú a távbeszélő szolgáltatás, tekintettel a katonai vezetés és irányítás rendszerében betöltött szerepére, az általa biztosított gyors információcserére, valamint a megkövetelt magas rendelkezésre állására².

A MH zártcélú hálózatában a távbeszélő szolgáltatásokat alapvetően ISDN³ rendszerű távbeszélő központok biztosítják. Az ISDN távbeszélő központok közötti trunk kapcsolatokat nx2 Mbps sávszélességű TDM rendszerű átviteli utak alkotják. Ezen rendszerek egyik alapvető jellemzője, hogy egy hang (adat) kapcsolat részére 64 kbps⁴ sávszélességet biztosítanak, és minden 30 kapcsolathoz (csatornához) tartozik 2 x 64 kbps jelző-vezérlő csatorna. Mára számos⁵ hangtömörítési eljárást és kódolást fejlesztettek a különböző távbeszélő rendszerek számára, mellyel a 64 kbps-os jelfolyam tömöríthető. Az MH zártcélú hálózatán létesített IP alapú hangszolgáltatás pilot rendszerében a G.729 kódolás került alkalmazásra, mely még jó hangminőség mellett 8 kbps bitrátaival rendelkezik. Természetesen ezen jelfolyam átviteléhez ennél nagyobb sávszélességre van szükség, mivel a jel továbbításához kiegészítő adatok szükségesek az MH Transzport-hálózat csomag/címke kapcsolat rendszerében.

Jelen publikáció célja, hogy bemutassa az IP technológián alapuló beszédátvitel milyen sávszélességet igényel az MPLS transzport-hálózatban, figyelemmel az alkalmazott technológiára és protokollokra.

A HANG TOVÁBBÍTÁSÁBAN RÉSZTVEVŐ ALAPVETŐ PROTOKOLLOK

A hang csomagkapcsolt hálózaton történő átvitelét a VoIP (Voice over IP) technológia biztosítja. Az Interneten keresztül történő telefonálás mellett megjelentek teljes IP telefónia (IPT) rendszerek is. IP telefónia rendszerben minden távközlési funkció az útválasztástól a jelzésrendszer továbbításáig, a telefonkönyv-szolgáltatástól a tarifálásig az IP technológiára és az adatátviteli rendszerek szolgáltatásaira épít. Itt is, mint minden távbeszélő rendszer kialakításánál figyelembe kellett venni, hogy a hang továbbítása valós idejű feldolgozást igényel. Az IP hálózatok „best-effort” továbbítási mechanizmusához olyan minőségi szolgáltatások⁶ (integrált szolgáltatások; pl: RSVP, illetve differenciált szolgáltatások; pl.: DSCP) szükségesek, amelyek megfelelő garanciákat biztosítanak az IPT felhasználói számára. A szolgáltatások körét a hálózaton továbbításra kerülő beszéd minőségét befolyásoló tényezők határozzák meg. Első és a további tényezőket meghatározó paraméter a hang digitalizálásához és tömörítéséhez alkalmazott kódoló, mivel a kódolási eljárás meghatározza a tömörített „hang” sebességét, hangkeret időtartamát, valamint a hangkeret

¹ 50/1998 Korm. rendelet a zártcélú hálózatokról

² A rendelkezésre állás az MH távbeszélő hálózatában évtizedek óta, jobb mint négykilences: 99.99%, vagyis maximálisan 53 perckiesés évente. Ezt a tulajdonságot a felhasználók tradicionálisan természetesnek tekintik.

³ Az MH zártcélú hálózatában megtalálhatók analóg rendszerű távbeszélőközpontok, valamint ez idáig közel 300 db IP rendszer készülék került üzembe helyezésre, amelyek néhány felhasználó részére biztosítanak távbeszélő és fax szolgáltatásokat.

⁴ A 64kbps sávszélesség a PCM-ből (Pulse code modulation of voice frequencies ITU-T G.711) eredeztethető.

⁵ G.723.1 (6.3 Kbps); G.723.1 (5.3 Kbps); G.726 (32 Kbps); G.726 (24 Kbps); G.728 (16 Kbps); stb.

⁶ QoS: Quality of Service

hosszát. További minőséget befolyásoló tényező a több paraméterből álló állandó késleltetés (a feldolgozási késleltetés, mely magába foglalja az analóg hang detektálása, feldolgozása, kódolása, valamint tömörítése és csomagolása által igényelt időt; az átviteli késleltetés az IP csomagok forrástól címzettig történő továbbításánál) a váltózó késleltetés, a csomagvesztés, a bithiba, és a fáziseltolás.

A következőkben csak a digitalizált és tömörített hang továbbításában résztvevő protokollok és az általuk átadott adatok sávszélesség nagysága kerül vizsgálatra.

BESZÉDÁTVITELHEZ ALKALMAZOTT PROTOKOLLOK AZ IPT RENDSZERBEN

Az MH zártcélú hálózatban az IPT hívások felépítéséért és menedzseléséért a H.323, a Cisco Skinny, és az MGCP protokollok felelősek⁷. A hangcsomagokat a szállítási, hálózati, adatkapcsolati, fizikai rétegek szabványos protokolljain alapuló alkalmazások továbbítják, így a TCP és az UDP, az RTP, az IP, az MPLS, valamint az Ethernet, és ML PPP⁸ protokollokat szükséges megvizsgálni.

Az IP csomagkapcsolás esetében a hálózati réteg szolgáltatásai határozzák meg az IP-re épülő rendszer tulajdonságait. Az IP szint problémája, hogy „best effort” szolgáltatást nyújt, vagyis egyáltalán nem vállal arra garanciát, hogy valamennyi elküldött csomag megérkezik a címzetthez. A hálózatban lokális torlódások/ütközések jöhetnek létre a csomagok áramlása során, ami az egyes csomagok elvesztéséhez, esetleg eldobásához vezethet. Ugyancsak az IP jellegéből adódóan a csomagok átvitelük során különböző utakon haladhatnak végig ugyanazon címzetthez, ezáltal a csomagok érkezési sorrendje sem garantált. A Transmission Control Protocol (TCP) felfelé megbízható adatátvitelt biztosít úgy, hogy alatta egy megbízhatatlan protokoll található. A megbízható kapcsolat kialakítására pozitív nyugtázást használ. Ha a küldő fél egy elküldött adatsomag megérkezéséről nem kap a TCP protokoll szerinti visszajelzést, akkor újraküldésre kerül sor. A valós idejű alkalmazásoknál erre nincs lehetőség (legalábbis nincs értelme), mert mire az újraküldött csomag megérkezik, már valószínűleg az alkalmazásnak azt le kellett (volna) játszania. Így tehát olyan esetekben használható a TCP, ahol az időbeli követelmények nem szigorúak, például a vezérlőjelzések továbbítása.

Először az IP csomagok átviteléért felelős rendszereket, majd a referencia modellben felfelé haladva az egyes hang továbbításába szerepet játszó protokollok tekintjük át.

Az MH Transzportálózat gerincében a többprotokollos címkekapcsolású, Multiprotocol Label Switching (MPLS) technika került alkalmazásra. Ez egy csomagkapcsolt technológia, amelynek segítségével különböző Layer 2 és Layer 3 virtuális magánhálózati (Virtual Private Network - VPN) szolgáltatások nyújthatók a hálózat felhasználói számára. Az MH országos MPLS gerinchálózat átviteli útjai a mikrohullámú hálózat nagy sebességű, 34 Mbps kapacitású gyűrűjére épül, ahol a csomópontokban egy-egy MPLS kapcsoló került telepítésre. A gyűrűtől távol eső katonai szervezetek a meglévő nx2 Mbps-os mikrohullámú csatornákon keresztül kapcsolódnak az MPLS hálózathoz. A jobb átvitel érdekében Multilink PPP⁹ kapcsolatok kerültek létesítésre, amivel több fizikai csatornát összefogva nx2 Mbps-os összeköttetések alakíthatók ki.

Az MPLS technológia legelterjedtebb alkalmazása az úgynevezett MPLS VPN Layer3 szolgáltatás. Ennek segítségével az MH telephelyei között, több független IP alapú rendszer számára biztosítható virtuális IP hálózati szolgáltatás. A különböző rendszerekhez tartozó végpontok egymást nem "láthatják", vagyis az átjárás az egyes rendszerek között nem

⁷ MGCP protokoll az IP és más távbeszélő hálózati kapcsolatokat menedzseli

⁸ Multilink point-to-point protocol

⁹ RFC 1990

lehetséges¹⁰.

Az MPLS címke kapcsolásához az adatfolyam egy 32 bit hosszúságú fejrészrel egészül ki. Tekintettel arra, hogy az MH rendszerében a hangrendszerek önálló VPN-be kerültek szervezésre a 32 bites MPLS VPN fejrész is a bitfolyamra épül.

Az MPLS irányválasztó eszközök között létesített Ethernet kapcsolatok esetében a jelfolyam kiegészítésre kerül a MAC fejrészrel, valamint a hibajavítást (CRC) szolgáló ellenőrző bitsorozattal. A MAC fejrész 14 byte (112 bit) a CRC ellenőrző 4 byte (32 bit) hosszúságú. A fentiekben említett ML PPP kapcsolatokon az ML PPP egy 6 byte-os (48 bit) fejrészrel látja el a csomagot és kiegészíti 1 byte (8 bit) hosszú csomagzáró bitsorozattal.

Az előzőekben ismertetett „átviteli utak” felelősek az IP csomagok továbbításáért. Az Internet Protocol (IP) feladata, hogy az alatta lévő réteg felé továbbítsa a szállítási rétegtől kapott csomagokat a megkapott rendeltetés hely IP címe alapján (IPv4, IPv6). Az IP egy kapcsolat nélküli protokoll, a kommunikációhoz nem szükséges se előzetes kapcsolatfelvétel, se nyugtázás. Feladata, hogy a csomagoknak megtalálja a legmegfelelőbb útvonalat, és ezeket a csomagokat a másik oldalhoz eljuttassa. A közbeeső rendszereken (IP útválasztókon) való átjutást az IP fejrész (verzió, csomagméret, élettartamjelző, ellenőrző összeg, forrás cím, cél cím, stb.)¹¹ biztosítja. A fejrész első részében, egy 8 bites TOS mezőben (IPv6 esetében Traffic Classes szintén 8 bit) a szolgáltatás típusát lehet átvinni, ez a rész a VoIP szempontjából is fontos, a differenciált szolgáltatások¹² prioritási szintjének átvitelére alkalmas. Az IP csomag másik összetevője a felsőbb szinttől kapott adatfolyam, amelynek tartalmával az IP nem foglalkozik. Az IPv4 fejrésze $5 * 32 \text{ bit} = 160 \text{ bit}$ hosszúságú, az IPv6 fejrésze $10 * 32 \text{ bit} = 320 \text{ bit}$ hosszúságú.

A User Datagram Protocol (UDP) 4. rétegbeli protokoll, ami az IP szint által biztosított szolgáltatásokat nyújtja felfelé. Ellentétben a TCP-vel, itt nincs semmilyen visszajelzési, ellenőrzési mechanizmus és nem kerülnek ismételt elküldésre az elveszett csomagok, ezért az UDP használható „valósídejű” adatok átvitelére. Az UDP további előnye, hogy kisebb méretű fejrészt használ, mint a TCP. A fentiek alapján a valósídejű alkalmazásoknál, köztük a beszéd továbbítására is ez a protokoll használható. Az UDP fejrész hossza $2 * 32 \text{ bit} = 64 \text{ bit}$.

Az UDP vezérlési hiányosságait a Realtime Protocol (RTP¹³) hivatott felszámolni az IPT rendszerekben. Az RTP az UDP protokollra épülve végpontok között adattovábbítási szolgáltatásokat biztosít valósídejű alkalmazások számára, amely adattovábbítása a szerverek tevékenysége nélkül közvetlenül a végpontok között történik. Az RTP feladata a csomagok kézbesítésének monitorozása, ezen belül a csomagok tartalmának (kódolás típusa) és sorrendjének meghatározása, azonosítása, az információáramlásának szinkronizálása, valamint a hálózat okozta késleltetés változások hatásának ellensúlyozása. Az RTP ellenőrző és vezérlő protokollja a RTCP. Minden RTP-hez tartozik egy RTCP kapcsolat, amellyel biztosítható az adattovábbítás minőségi paraméterei a küldő és a fogadó között (pl.: elveszett csomagok, késleltetés változás, stb.). Ezen funkciók a valósídejű hibajavításhoz, illetve a hálózat menedzsment számára szolgáltatnak információt. Továbbá az RTCP információt szolgáltat az adott kapcsolatban résztvevőkről (ideértve a konferenciákat is) azonosítási céllal, amely a felhasználói felületen is megjeleníthető. Az ajánlás szerint legalább 5 másodpercenként szükséges az RTCP csomagok küldése, ez az érték került az MH hálózatában is beállításra. Az RTCP csomag hossza a csomag funkciójától függ. Egy csomag hossza 8 és 60 byte között változhat. Az RTP fejrész hossza homogén, tisztán IPT rendszerben $3 * 32 \text{ bit} = 96 \text{ bit}$, amennyiben különböző technológiájú, esetleg eltérő, keskeny sávzélességű rendszereken kerül továbbításra a hang az RTP fejrész kiegészítésre kerül egy

¹⁰ Az átjárás csak VPN átjárókon keresztül lehetséges, amelyek biztonsági elemekkel kerültek kiegészítésre.

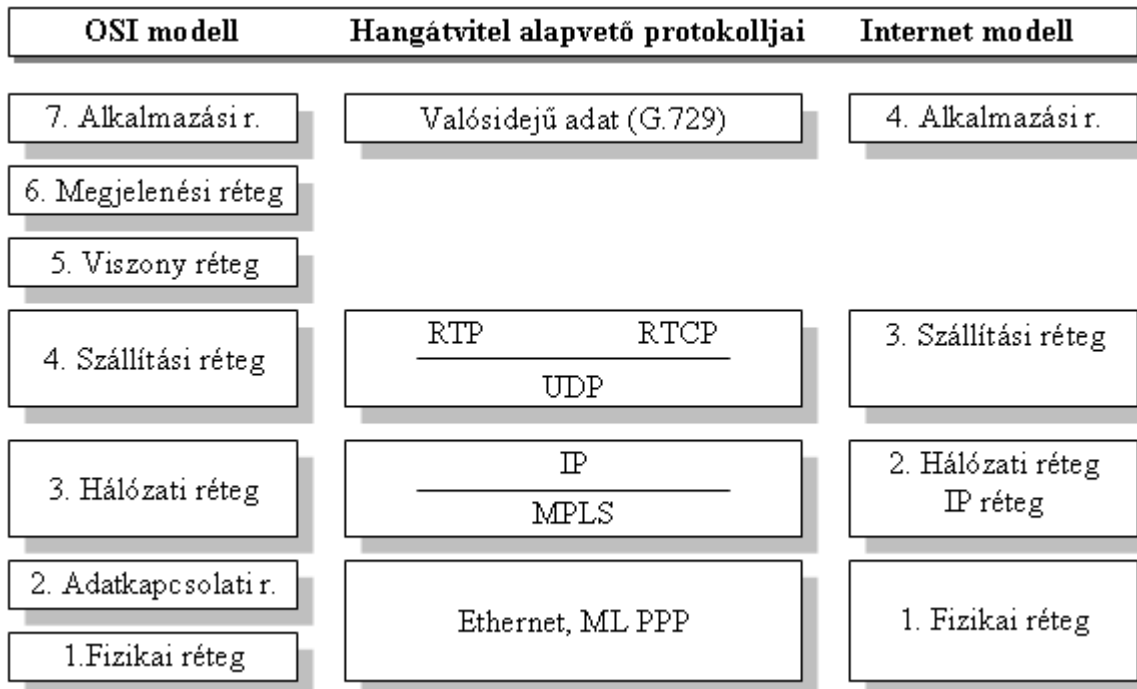
¹¹ IPv4: RFC 791; IPv6: RFC 2460

¹² Például a prioritáskezelések (DSCP), sorbaállítás kezelések a differenciált szolgáltatásokhoz tartoznak.

¹³ RFC 3550

32 bites fejrész (CSRC azonosító) információval, ez esetben az RTP fejrész 128 bit hosszúságú.

Az alábbi ábra a fentiekben ismertetett protokollok referencia modellbeli helyét és egymásra épülését mutatja.



Protokollok a referencia modellek rétegeiben[4]

CSOMAGOK MÉRETE ÉS SÁVSZÉLESSÉG IGÉNYE

Mint már az előzőekben említésre került a sávszélesség alapvetően a hangkódolótól függ, így a hangkeret időtartama és mérete határozza meg a szükséges sebességeket is.

Az MH zártcélú hálózatában a G.729 kódolási¹⁴ eljárás került alkalmazásra, mivel elfogadható (3,92 MOS¹⁵) minőség mellett jelentősen képes tömöríteni a digitalizált hangot. A G.729 kódolás eredményeképpen egy 8 kbps-os jelfolyam keletkezik: A 8 kHz-es mintavételezés minden 5 mintájához egy 10 bites kódszó tartozik ($8000/5 \cdot 10 = 16$ kbps). Ezen bitfolyamban 4 darab 10 bites kódszó alkot egy alkeretet, amelyekből 2 alkot egy blokkot. Ezen 80 bites blokkok további kódolásra és tömörítésre kerülnek, ezt követően 80 bit hosszúságú 10 ms időtartamú kereteket kapunk, amelyek sávszélessége 8 kbps (80 bit/10 ms = 8000 bps).

Ezt a 8 kbps-os jelet kell továbbítanunk az IP/MPLS hálózaton a fentiekben ismertetett protokollok segítségével. Az MH IPT rendszerben 2 keretenként kerül továbbításra a hang (2 x 80 bit = 2 x 10 byte), azaz 20 ms alatt 160 bit. A különböző rétegekben lévő protokoll ezt a hasznos jelet fogják kiegészíteni egy-egy fejrészsel, amelyek természetesen további sávszélességet igényelnek.

RTP fejrész hossza: $3 \times 32 \text{ bit} = 96 \text{ bit}$, $4 \times 32 \text{ bit} = 128 \text{ bit}$

UDP fejrész hossza: $2 \times 32 \text{ bit} = 64 \text{ bit}$

IP fejrész hossza (IPv4, IPv6): $5 \times 32 \text{ bit} = 160 \text{ bit}$, $10 \times 32 \text{ bit} = 320 \text{ bit}$

MPLS és MPLS VPN fejrész hossza: $2 \times 32 \text{ bit} = 64 \text{ bit}$

A fentieknek megfelelően az MPLS rendszer IPv4 alkalmazása esetén $96+64+160+64 + 160 \text{ bit} = 544 \text{ bit} / 20 \text{ ms} = 27200 \text{ bps}$ sávszélességű, IPv6 alkalmazása esetén $704 \text{ bit} / 20 \text{ ms} = 35200 \text{ bps}$ sávszélességű jelet ad át az alatta lévő átviteli közegnek

Az előzőekben ismertetésre került, hogy az MPLS irányválasztó eszközök között Ethernet, illetve Multilink PPP kapcsolatok kerültek létesítésre az MH Transzport-hálózatában. Az MPLS kapcsolók között többségében Ethernet kapcsolatok kerültek kialakításra.

Az Ethernet esetében a jelfolyam kiegészítésre kerül a MAC fejrészsel, valamint a hibajavítást (CRC) szolgáló ellenőrző bitsorozattal. A MAC fejrész 14 byte (112 bit) a CRC ellenőrző 4 byte (32 bit) hosszúságú. Tehát az IPv4 esetén 544 bithez, IPv6 esetén a 704 bithez 144 bitet kell hozzáadni, így 688, illetve 848 bit kerül továbbításra 20 ms alatt, amelynek sávszélesség igénye 34400 bps, illetve 42400 bps.

Az ML PPP esetében is hasonló elven kell kiszámolni a sávszélességet.¹⁶ Az IPv4, IPv6 alkalmazásánál $160+320+64+56 = 600$, illetve $160+480+64+56 = 760$ bitet kell továbbítani, amelyhez 30000 bps-os, illetve 38000 bps-os csatorna szükséges.

A számított értékekhez a hang átvitele során még hozzáadódik hangforrásonként az RTCP 5 másodpercenként továbbított monitoring információja ($408 - 912 \text{ bit} / 5\text{s}$), ami kb. 82 - 182 bps sávszélességet igényel. Ebből is látszik, hogy a keletkező bitfolyam erőforrás igénye időben folyamatosan változó. A sávszélesség igény eloszlását tovább befolyásolhatja (csökkentheti) a beszélgetések során jelenlévő szünetek, amelyek időtartama alatt nem kerül a „csend” továbbításra, ezt a csend érzékelő (VAD – Voice Activity Detector) technika teszi lehetővé, ellenben ez nem került az MH rendszerében beállításra, mivel növeli a

¹⁴ CSACELP (Conjugate Structure Algebraic CELP).

¹⁵ Mean Opinion Score - MOS

¹⁶ Az ML PPP rendszerben a RTP/UDP/IP fejrészek tömöríthetők. A tömörítést a Compressed Real-Time Protocol (cRTP) hajtja végre. Ez a tömörítés kis bithiba-arányú átviteli közegekben kerülhet alkalmazásra, ennek megfelelően az MH mikrohullámú hálózatban jelenlévő bithiba arány miatt az MH hálózatában cRTP nem került bevezetésre.

késleltetéseket, ami további hang minőségromláshoz vezet.

Az alábbi táblázatban összesítésre került a különböző hálózatokon továbbított hang sávszélességé igénye.

Hálózat	IPv4	IPv6
Homogén IPT rendszerben (96 bites RTP fejrész)		
Ethernet	34400 bps	42400 bps
ML PPP	30000 bps	38000 bps
Inhomogén IPT hálózatban (128 bites RTP fejrész)		
Ethernet	36000 bps	44000 bps
ML PPP	31600 bps	39600 bps

1. táblázat: hang sávszélesség igénye különböző hálózatokon¹⁷

ÖSSZEFOGLALÁS

A hang átviteléhez szükséges sávszélesség nagyságát a beszéd digitalizálása és tömörítése mellett az alkalmazott távbeszélő és átviteli rendszerek együttesen határozzák meg. A fenti számításokból kitűnik, hogy az MH Transzportálózatában kialakított IPT pilot rendszer Ethernet kapcsolatain egy hangcsatorna átviteléhez kb. 47-67%-al kisebb sávszélesség szükséges, mint az ISDN rendszer esetében. Mivel az MH hálózatában a csend érzékelés nem kerül alkalmazásra, valamint a szolgáltatás minőségére vonatkozóan integrált és differenciált szolgáltatások kerültek beállításra, a digitalizált hang fejrészekkel ellátott bitfolyamának időbeli lefolyása közel állandónak tekinthető, így n egyidejű beszélgetéshez IPv4 esetében $n \times 34,4$ kbps, IPv6 esetében $n \times 42,4$ kbps sávszélesség szükséges. Azonban ki kell emelni, hogy ez a számítás kizárólag a hang átviteléhez létesült csatornára vonatkozik. További sávszélesség szükséges a hívás vezérlések továbbításához, kiemelve a H.323, Skinny, MGCP protokollok jelzéseit, illetve a különböző minőségi szolgáltatások biztosításához szükséges eljárásokat. Ezek aggregált sávszélességénél figyelembe kell venni az adatfolyamok időbeli eloszlását is, amelyet jelentősen befolyásol a hálózat pillanatnyi terheltsége, valamint a hívások darabszámának megoszlása.

Az IPv4 protokollról IPv6-ra történő átállás során nem csak a hálózati eszközök IPv6 képességét szükséges vizsgálni, hanem a teljes MH Transzportálózatban rendelkezésre álló sávszélességeket is, mivel a fenti számítások mutatják, hogy IPv6 esetében kb. 25% -al nagyobb sávszélesség szükséges a hang (és egyéb adatok) átviteléhez a hálózatban.

Irodalom jegyzék

- [1] Gál Zoltán: NGN szolgáltatások sávszélesség-menedzsmentje LAN/MAN környezetben - Híradástechnika LXIII. ÉVFOLYAM 2008/12.
- [2] International Engineering Consortium ITU-T: Recommendation H.323 Packet-based multimedia communications systems – <http://www.itu.int/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-H.323-200912-P,2010>. február 27.
- [3] International Engineering Consortium ITU-T: G.729 - <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.729-200701-I,2010>. február 27.

¹⁷ A táblázatban nem szerepel az RTP, valamint a hívásvezérléshez szükséges adatok sávszélességét

- [4] The Group of experts on IP Telephony ITU-D: The Essential Report on IP Telephony 2003 – http://www.itu.int/ITU-D/cyb/publications/2003/IP-tel_report.pdf, 2010. február 27.
- [5] ITU-T, “Recommendation E.800: Quality of service and dependability vocabulary”, 1988. - <http://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I>, 2010. február 27.
- [6] IEEE 802.3 LAN/MAN CSMA/CD (Ethernet) Access Method - <http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>, 2010. február 27.
- [7] RFC 0768 User Datagram Protocol. J. Postel. August 1980. (Státusz: Szabvány)
- [8] RFC 0791 Internet Protocol. J. Postel. September 1981. (Kiváltotta az RFC0760-t) (Frissítve az RFC1349-el) (Státusz: Szabvány)
- [9] RFC 0793 Transmission Control Protocol. J. Postel. September 1981. (Frissítve az RFC1122, RFC3168-al) (Státusz: Szabvány)
- [10] RFC 1990 The PPP Multilink Protocol (MP). K. Sklower, B. Lloyd, G. McGregor, D. Carr, T. Coradetti. August 1996. (Kiváltotta az RFC1717-t) (Státusz: Szabvány tervezet)
- [12] RFC 2205 Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -- Version 1 Functional Specification. R. Braden, Ed., L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin. September 1997. (Frissítve az RFC2750, RFC3936, RFC4495-el) (Státusz: Ajánlás)
- [13] RFC 2460 Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification. S. Deering, R. Hinden. December 1998. (Kiváltotta az RFC1883-t) (Frissítve az RFC5095, RFC5722-el) (Státusz: Szabvány tervezet)
- [14] RFC 3550 RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson. July 2003. (Kiváltotta az RFC1889-t) (Frissítve az RFC5506-al) (Státusz: Szabvány)
- [15] RFC 4364 BGP/MPLS IP Virtual Private Networks (VPNs). E. Rosen, Y. Rekhter. February 2006. (Kiváltotta az RFC2547-t) (Frissítve az RFC4577, RFC4684, RFC5462-el) (Státusz: Ajánlás)
- [16] RFC 4659 BGP-MPLS IP Virtual Private Network (VPN) Extension for IPv6 VPN. J. De Clercq, D. Ooms, M. Carugi, F. Le Faucheur. September 2006. (Státusz: Ajánlás)
- [17] RFC 3545 Enhanced Compressed RTP (CRTP) for Links with High Delay, Packet Loss and Reordering. T. Koren, S. Casner, J. Geevarghese, B. Thompson, P. Ruddy. July 2003. (Státusz: Ajánlás)
- [18] RFC 5506 Support for Reduced-Size Real-Time Transport Control Protocol (RTCP): Opportunities and Consequences. I. Johansson, M. Westerlund. April 2009. (Frissítve az RFC3550, RFC3711, RFC4585-el) (Státusz: Ajánlás)