

Adatátviteli teljesítményvizsgálat szimmetrikus DSL berendezéseken

SZÉKELY SÁNDOR, KISS SZABOLCS MÁTÉ

Ericsson Magyarország,

sandor.szekely@siemens.com, szabolcs.mate.kiss@ericsson.com

Kulcsszavak: DSL, SHDSL, szélessáv, mérőhálózat

A DSL technológia az utóbbi időben széles körben terjed a kis- és közepes vállalkozások (SME, Small-to-Medium sized Enterprise), mint felhasználók körében, illetve az otthoni vagy kisebb irodákban (SOHO, Small Office/Home Office) is. Az xDSL technológia a hang és adatkapcsolatot réz érpáron valósítja meg. Cikkünkben miután ismertetjük a szimmetrikus DSL (SDSL, Symmetrical DSL) technológiát, valamint ennek jelenlegi világgpiaci helyzetét, áttekintjük az SDSL technológián alapuló alkalmazások átviteli teljesítményéről, továbbá különböző gyártók termékeinek összehasonlításához is segítséget adjunk.

A cikk öt különböző gyártmányú CPE-páros (Customer Premises Equipment) mérési eredményét mutatja be mind az ATM mind az IP alapú gerinchálózathoz csatlakozó SDSL vonalakon. IP szinten vizsgáljuk a 2,3 Mb/s-os SDSL vonalakon elért adatátviteli sebességet és csomagkésleltetést különböző csomagméret esetén, valamint csomagvesztést is mérünk két különböző vonali kódolási módban (2B1Q és TCPAM16), ami az SDSL technológiában jelenleg használatos. A vizsgált eszközök mindegyike DSLAM-en (DSL Access Multiplexer) keresztül csatlakozik a gerinchálózathoz. Egyik CPE-páros esetében a fejléc az L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol), ezt a biztonságos IP (IPSecurity) és a titkosító kódolás miatt szintén elemeztük. Megmértük a CPE-k FTP (File Transfer Protocol) fájl forgalmi teljesítményét is. Végül pedig, minden egyes vizsgált eszköz vonatkozásában (vonalszimulátorok alkalmazásával) a vonali átviteli sebességtől függően a maximális előfizetői hurok hosszát is megmértük.

1. Bevezető

1.1. A szimmetrikus DSL technológiáról általában

A cikk célja - alapul véve a SHDSL (Symmetric High bit rate Digital Subscriber Line) szabványt [ITU01] - az új generációs szimmetrikus DSL szolgáltatásokat kínáló CPE-k teljesítményanalízise. Az általános DSLAM (DSL Access Multiplexer), amire kezdetben az ADSL épült (Asymmetrical DSL), az utóbbi időben már használják más szabványos DSL típusoknál is, úgy, mint SHDSL, VoDSL (Voice over DSL), és VDSL (Very high bit rate DSL) [Hum97].

A SHDSL általában a DSL technológiák fejlődése szempontjából [Bal98] az SDSL-t követi. Az egy réz érpáron működő ITU-T G. SHDSL ajánlás [ITU01] kedvezőbb sávszélesség-kihasználtsága, nyílt kezelhetősége és több szolgáltatási lehetősége miatt az eddigi technológia helyébe lépett. A nagy sávszélességű SHDSL folyamatosan leváltja majd a szimmetrikus kap-

csolattípusokat egészen a T1/E1- és a régebbi generációs SDSL technológiáig, mivel akár 3600 m távolságig is képes 2,3 Mb/s-os adat- és jó minőségű hangátvitelt produkálni egyetlen réz érpáron [Bre02].

A régebbi HDSL/SDSL technológiák spektrum-kompatibilitási problémáinak leküzdése érdekében a piaci szabályozók jellemzően visszautasítják a helyi hurokban mindazokat a DSL-technológiákat, amelyek a spektrum lehetőségeit nem hatékonyan használják ki [TSAG01].

A spektrum kompatibilitási problémák vezették a létező SDSL megoldásokat az SHDSL felé, amely a távközlési elérési hálózatokban a szimmetrikus adattovábbítás egy módja. A SHDSL átviteli egységeket tetszőleges szabványú kétirányú működésre tervezték, kéteres sodrott réz-érpáron (Magyarországon négyes sodrású réz erű kábeleket használunk).

A SHDSL kapcsolatok szimmetrikus előfizetői adatátvitelre képesek a 192-2304 kb/s-os tartományban. Ez lehetővé teszi a szolgáltatóknak, hogy a központ távolságától függően optimalizálják a kiosztott sávszélességet. Az új generációs DSLAM a TC-PAM16 (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation) vonali kódolást használja, amely módot ad a sávszélesség és az előfizetői vonalszakasz hossza közötti kompromisszumra. A kiterjesztett elérésű alkalmazások a négyeres változatban használhatók, jelregenerátorok szintén specifikálhatók mind a kéteres, mind pedig a négyeres működéshez.

Ezek a megoldások a hozzájuk jól illő alkalmazásokhoz a piacon elérhetők. A továbbfejlesztett változatok (például nagyobb sávszélesség, új virtuális nyalábok, Virtual Path) a szolgáltatásintegrációt lehetővé tevő maximális rugalmasságot és növekvő bevételt eredményeznek a szolgáltatóknak. Nagyobb sávszélesség kiosztása egy egyszerű parancsváltással oldható meg anélkül, hogy a központban vagy az előfizető oldalán mindaddig bármilyen eszköz cseréjére szükség lenne, amíg a maximális kiosztható sávszélességet nem érte el.

1.2. A szimmetrikus DSL jelenlegi világpiacon helyzetéről

A DSL piacon számos versenyző van, ezért a CPE-k hardver- és szoftver-verzióinak folyamatos aktualizálása kiemelt jelentőségű. Könnyen előfordulhat, hogy hat hónap leforgása alatt a piacon jelenlévő egyes átviteli eszközök (CPE-k) gyártása leáll, aminek következtében a tervezett valamint a kivitelezett szolgáltatások és protokollok összehasonlító teljesítménymérése és részletes elemzése különösen nagy hangsúlyt kap.

Európában a globális és a regionális szolgáltatók a 2000. év elején kezdték kínálni a hang- és adatforgalmi szolgáltatásaikat szimmetrikus DSL vonalakon, ám mérsékelt növekedés volt csak tapasztalható. 2002 májusában Európában egy szolgáltató csoport az ötödik, egy másik szolgáltató Németországban több mint negyven nagyvárosbeli jelenléttel a hatodik is meghaladó üzleti SDSL előfizetővel rendelkezett. Ez a szám az elmúlt két évben megkétszereződött, de pontos adatokat nem sikerült megtudnunk. Általában igaz a nagy szolgáltatókra, hogy az utóbbi időben sem csupán ADSL-t kínálnak ma a magánfelhasználóknak, hanem SDSL-t is. A teljes képet kiegészítik a regionális szolgáltatók, amelyek némelyike szintén kínál SDSL-t. Mindeközben az erős verseny eredményeként néhány szolgáltató (pl. Riodata és KPNqwest) 2002-ben csődbe ment, előfizetőik nagy hányada más szolgáltatók táborát gazdagítja. Az első kísérleti SDSL hálózatokat az Egyesült Államok szolgáltatóinál és Dél-Koreában 2002 év közepén helyezték üzembe. Ehhez hozzátartozik, hogy az Egyesült Államokban hagyományosan a legtöbb szélessávú előfizető kábel-modemen keresztül csatlakozik a világhálóra, a DSL csak a második helyen áll. A statisztikák szerint a legdinamikusabb fejlődést 2003-ban az ázsiai régió produkálta (Japán, Dél-Korea, Kína). Magyarországon nem jellemző az SHDSL térhódítása, bár apró jelek mutatnak arra, hogy az SHDSL lassan terjed. A Matáv, a Siemens, az Emitel pedig az Ericsson készülékeivel [ERIO2] ajánlja mind az ADSL-t, mind pedig az SHDSL-t, de az SHDSL előfizetések száma egyelőre még elhanyagolható az ADSL összeköttetések száma mellett.

A második fejezetben vázoljuk az alkalmazott követelményeket és a mérési módszereket. A harmadik fejezet bemutatja a mérési környezetet. A negyedik fejezet bevezeti az olvasót a protokoll mélységeinek, illetve a hozzátartozó fejléc kiszámításának részleteibe különböző átviteli módokban, egy kis elméleti háttérrel szolgáltatva ez által a mérési eredmények értelmezéséhez. Az ötödik fejezet a numerikus eredményeket ismerteti és értelmezi, a hatodik fejezetben, pedig a következtetéseinket vonjuk le.

2. Mérési eljárások és mérőszámok

A CPE-eket úgy választottuk ki, hogy:

- össze tudjuk hasonlítani több gyártó termékeit,
- egynél több termékkel rendelkezünk mindegyik gyártótól, és

– az SDSL vonalakat meg tudjuk vizsgálni mindkét vonali kódolási eljárás szerint (2B1Q és PAM16).

Nem volt célunk rangsorolni a berendezéseket, de a jellegzetességekről és a teljesítményekről áttekintést nyújtunk. Az eredmények a következők: IP szintű csomagátviteli teljesítmény, egyirányú csomagkésleltetés (késleltetés), csomagvesztés, FTP letöltési sebesség és előfizetői távolság.

Két mérési eljárást különböztettünk meg: egy- és kétirányú mérés fél duplex és duplex módban. Ha csomagok meghibásodtak vagy elvesztek az átvitel során, azokat a beállítások szerint nem küldte újra a forgalomgenerátor (az IP-ben nincs garantált megbízhatósági szint).

Két vonali szimulátor, egy Acterna LS 10.03 és egy Sparnex LSX2020 valósították meg az SDSL/SHDSL előfizetői hurok távolságparaméterét. A teljesítménymérésnél a kezdeti értékeket a következők szerint állítottuk be: előfizetői hurok hossza = 2,6 km, fehér zaj szintje = 0 dB, kábeltípus = R 0,4 mm PE, SHDSL sebesség = 2312 kb/s, forgalom típus = UBR (Unspecified Bit Rate). Néhány tesztünket alacsonyabb SHDSL sebességen is megismételtük (pl. 1552 kb/s, 1168 kb/s és 768 kb/s), de ezen mérések nem szolgáltak új információval.

Kombinálva az átviteli teljesítmény-, a késleltetés- és a csomagvesztés méréseket a vizsgálati idő CPE-páronként összesen 12-24 órát tett ki. Az átviteli teljesítmény mérés esetén 3 db. 10 másodperces próbát végeztünk minden lépésben a minimális (100 kb/s) és maximális (2320 kb/s) bitsebesség között, 10 kb/s-os lépésekkel. A még hibátlan átvitelt nyújtó maximális sebesség meghatározásához (egy adott csomagméretre) az SHDSL vonalon bináris keresési algoritmust alkalmaztunk. A hibátlan átvitel (100%) alatt azt a maximális IP szintű átviteli sebességet értjük, ahol még nem jelenik meg csomagvesztés.

A szolgáltatók a gyakorlatban igazodnak a megvalósítható értékekhez, így pl. a MATÁV az ADSL és az SHDSL elérés termékopciójában [IPC04] a következő paramétereket kínálja:

- Átlagos csomagvesztési arány: < 5 %,
- Maximális csomagkésleltetés: < 500 ms (a felhasználó végberendezése és a központi telephely CE routere között, egy irányban mérve).

3. Mérőhálózat

A teljesítményt öt CPE-páron hasonlítottuk össze (1. táblázat első öt oszlopa). Eddig nem volt lehetőségünk az SDSL piac másik három vezető gyártójának eszközeit tesztelnünk (Cisco, Alcatel és Netopia), ezért az információink ezen eszközökről a termékleírásokra hagyatkoznak, amelyek a fent említett gyártók hivatalos weboldalain találhatóak (1. táblázat utolsó 3 oszlopa), a teljesség kedvéért itt mégis felsoroltuk őket.

Az első lépésben biztosítani kell a kompatibilitást a CPE-k és a DSLAM között (mivel rendszerint különböző gyártók chipkészleteivel vannak felszerelve).

Termékek → Szolgáltatások ↓	Siemens Attane i210 (IAD)	Siemens Attane i470 (IAD)	Efficient Networks SS5851	Efficient Networks SS5950	Xavi 3102r	Cisco 828	Alcatel SpeedT 610s	Netopia 4553
FW/SW ver.	3.0	2.2	4.0.2	5.3.10	1.56	12.2	3.4	5.3.4
(Mar'02)	(Jan'01)	(Maj'00)	(Okt'01)	(Jul'01)	(Maj'02)	(Maj'02)	(Maj'02)	
Bridge	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen
Router	Igen	Nem	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen
PPP	Igen	Nem	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen
LAN10/100b-T	1 port	1port	Hub 4x	Switch 8x	Hub 4x	Hub 4x	Switch 4x	1 port
L2TP	Nem	Nem	Igen	Igen	Nem	Nem	Nem	Nem
IPSec	Nem	Nem	Igen	Igen	Nem	Igen	Igen	Igen
ISDN hang	4x AAL2	(1...8)x AAL1	Nem	Nem	Nem	Nem	Nem	Nem
Vonal kódolás	PAM16	2B1Q/PAM16	2B1Q	PAM16	PAM16	PAM16	PAM16	PAM16

1. táblázat A CPE-k funkcionális áttekintése

A tesztelést a következő átviteli eszközökkel végeztük: Siemens Attane i470 és Attane i210, Efficient Networks SpeedStream SS5851 és SS5950, és Xavi 3102r.

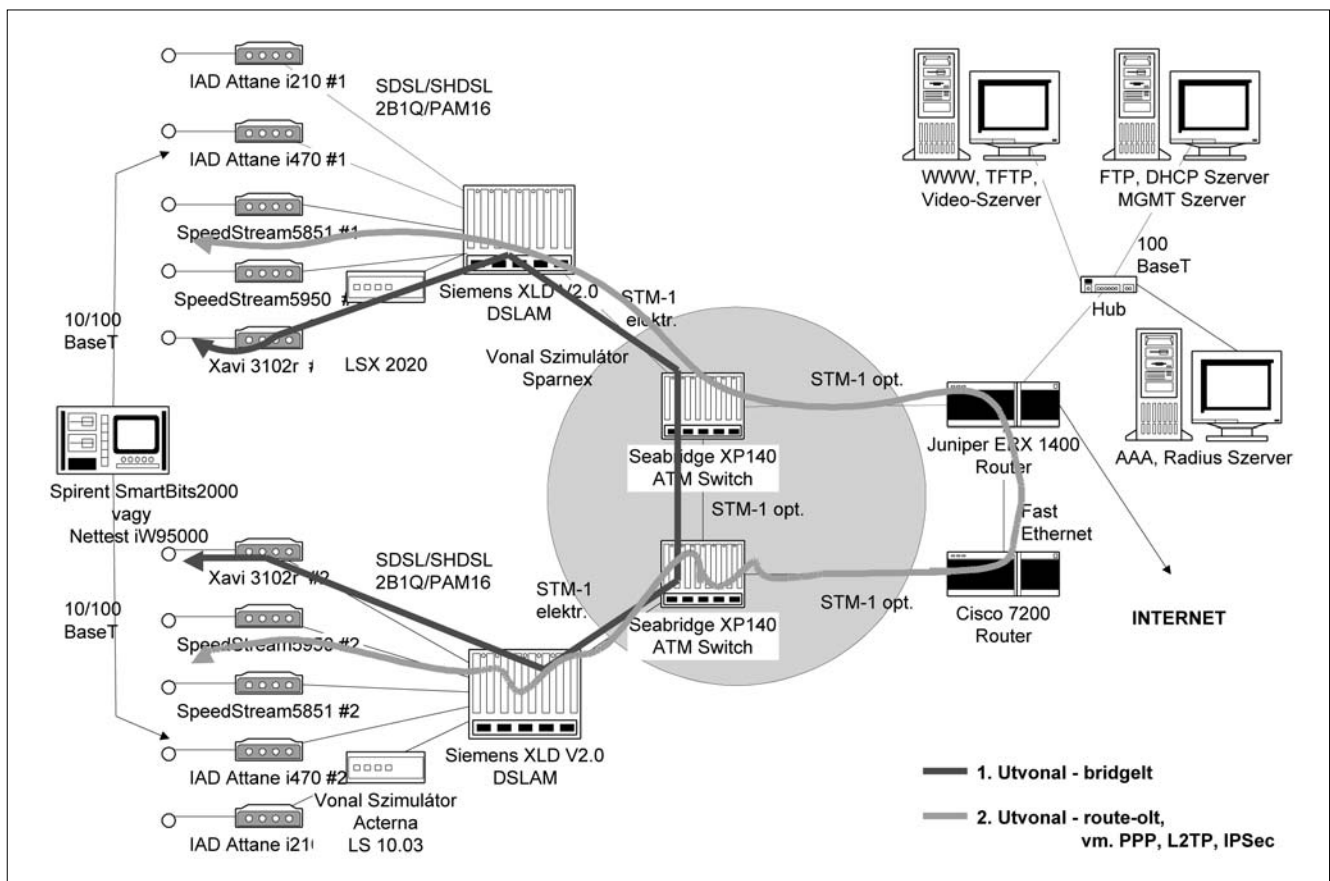
A táblázatban bemutatott eszközök további szolgáltatásokat is nyújtanak (NAT/NAPT, tűzfal, DHCP szolgáltatás, modemes dial backup, biztonságos menedzsment stb.). Mivel ezek vizsgálata nem volt kitérőt célunk, tárgyalásuk nem szerepel a jelen cikkben. Az 5. fejezetben leírt vizsgálatokhoz a következő hálózati eszközöket használtuk (1. ábra).

A 1. táblázatban bemutatott átviteli eszközök közül kettő támogatja a VoDSL szolgáltatást is (amely üzleti célú hang- és adatszolgáltatást valósít meg DSL vona-

lon): a Siemens Attane i210 és az Attane i470. Az előfizetői oldalon ezek az integrált elérési eszközök (IAD, Integrated Access Devices) 2,3 Mb/s SDSL vonalon csatlakoznak a DSLAM-hez. Az átviteli protokoll az ATM, a DSLAM pedig összefogja a teljes bejövő hang- és adatforgalmat.

Az aggregát ATM forgalom az ATM hálózaton keresztül jut el az IP gerinchálózatra egy optikai vagy elektromos STM-1 (155 Mb/s) interfészen keresztül. Alternatívaként lehetséges E3 (34 Mb/s) vagy nxE1 (nx2 Mb/s) interfészen is. A VoDSL technológia vizsgálata túlmutat cikkünk keretein, de részben megtalálható a [Hab02]-ben.

1. ábra A tesztálózat áttekintése



4. A tesztelés folyamán használt protokoll felépítés (Protocol Stack)

A 2/a. ábra különböző Protocol Stack-eket hasonlít össze, amelyeknek az eredményei az 1. táblázatban megemlített összeállításokra vonatkoznak. A kapcsolatarchitektúrában megszokott, hogy alul az xDSL alapú ATM foglal helyet. Az IP adatillesztése érdekében az AAL 5 (ATM Adaptation Layer 5) vagy aal5snap-pal vagy pedig aal5mux-szal működik.

A 2/a. ábra bal oldalán a CPE eszköz szimpla xDSL routerként működik PPP nélkül. Ennek következtében csak egy többlet fejléc kerül be az AAL5 és az IP fejléc közé, nevezetesen az RFC1483. A következő két fejléc van az AAL 5 és az IP között: bridge-elő RFC 1483, majd az Ethernet fejléc. Nem jeleztük a táblázatban az Ethernet csomagot lezáró mezőt, de természetesen ez is része az Ethernet keretnek. Következik a PPPoE (PPP over Ethernet) összeállítás, ahol pont-pont kapcsolat valósul meg Etherneten. A PPP over ATM (PPPoA) esetben az eszköz routerként funkcionál, így kihagyja az Ethernet keretet az adatfolyamból. Éppen a PPP hordozza az IP keretet, ebben különbözik a bal szélső stack-től.

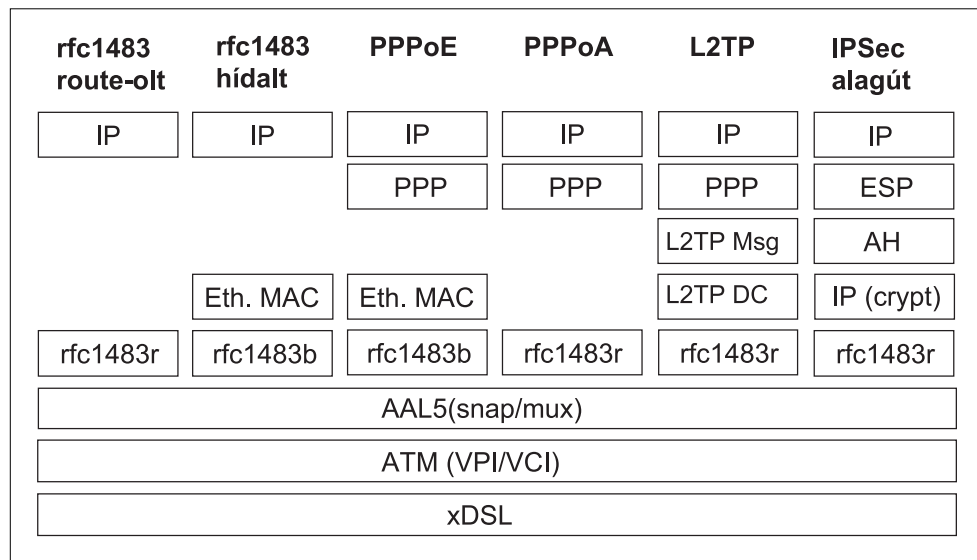
Folytatva, az L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol) elrendezésben az eszköz LAC-ként (L2TP Access Concentrator) funkcionál, pl. a PPP összeköttetés után egy szélessávú távoli elérési szerver (BRAS) következik egy layer 2 csatornán keresztül. Így a PPP fejlécet megelőzi még az L2TP adatcsatorna (DC, Data Channel) fejléce és az L2TP üzenetek (Mgs, Messages) is. Végül az IPSec (IP Security) hierarchiában az egész IP csomag kódolt, ahol az eredeti IP fejléc láthatatlan. Ennek helyére egy új IP fejléc kerül a titkosított csatorna végpontjai szerinti forrás és cél IP-címekkel. Amióta az eredeti IP fejléc rejtett, a titkosító kódolás miatt (ESP, Encapsulating Security Payload) a régi hálózati címek a későbbiekben sem láthatók. Ez egy fontos biztonsági funkciója ennek az átviteli módnak.

Ezzel szemben áll az IP-mód, ahol az átviteli forma IPSec (nincs a 2/a. ábrán), a titkosító kódolás csak az

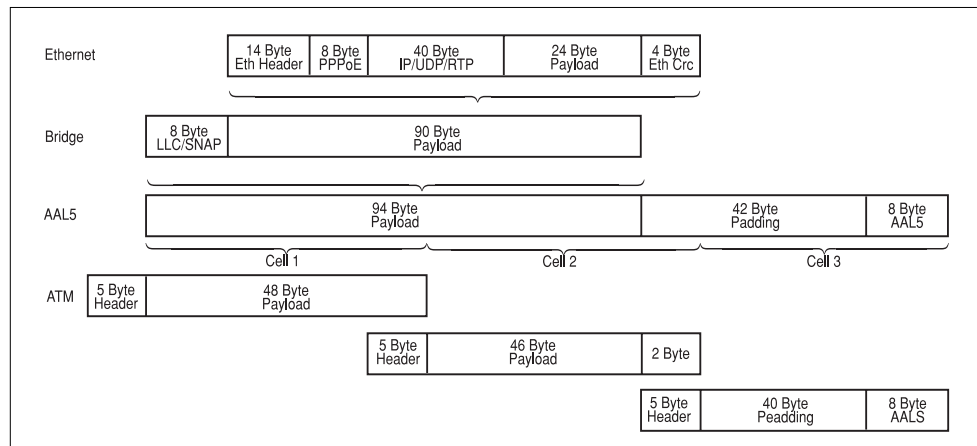
IP csomag tartalmát érinti, a fejlécet nem. A régi IP fejlécet megőrzi, azonban a protokoll mező már nem jelzi, például a TCP=6/UDP=17 stb. paramétereiket, de az AH=51/ESP=50-et igen. Kizárólag hitelesítésre tulajdonképpen az AH (Authentication Header) egyedül is alkalmas lenne, illetve az ESP kizárólag a titkosító kódolásra, de szokás szerint az AH-t vagy az AH/ESP-t alkalmazzuk. A biztonsági paramétereiket (SPI, security parameters index) lényegében az AH és az ESP alkotják. Mindez egy olyan táblázatra mutat, amely az elengedhetetlen paramétereiket (algoritmus, titkosító kulcsok) tartalmazza. Ezen táblázat értékeit vagy a két végrendszerben, vagy pedig automatikusan egy kulcs-csere algoritmussal (key exchange protocol, pl. IKE) határozzák meg, amelyről részleteket a [Bor00]-ban találunk.

A 2/b. ábra szemléletesen mutatja, hogy egy 24 bájtos rövid csomag (pl. egy RTP csomag) 90 bájtra duzzad az Ethernet keretben, majd további 42 bájttal egészítés szükséges az AAL5-ös keretben, illetve 15 bájttal ATM fejléc is csatlakozik hozzá az ATM rétegben. Ez a „látványos” rossz kihasználtság csak a nagyon rövid csomagméretekre jellemző.

2/a. ábra A CPE-kben használt különböző protokoll struktúrák



2/b. ábra Egy példa a fejléc kialakítására



5. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben az SDSL/SHDSL átviteli eszközök teljesítményét hasonlítottuk össze, PPP és L2TP valamint IPsec módokban. Mindig két meghatározott eszköz között végponttól végpontig mérjük az IP-szintű átvitelt, késleltetést és csomagvesztést. Az angol terminológia kétféle kifejezést használ az IP szintű késleltetésre: delay, latency; mi a két fogalmat egyenértékűen késleltetésnek értelmezzük. Amennyiben szükséges, rámutatunk a teljesítménybeli különbségekre a fél duplex (HD, Half Duplex) és a duplex (FD, Full Duplex) módok között. A tesztek minden módban FTP letöltési teljesítménnyel (lásd. 5.5 tesztet) tettük teljessé. Az eredményeket hat csoportba osztottuk, az utolsó esetben a maximális elérhető sebességre állítottuk be.

5.1. Vizsgálat:

Bridge-elt üzemmód: HD/FD, kétirányú forgalom

(1. útvonal az 1. ábrán és 2. oszlop a 2/a. ábrán)

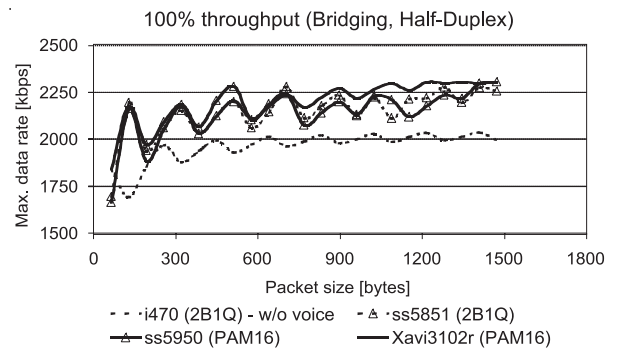
Bridge-elt duplex módban, kétirányú forgalom mellett az adatforgalom mind az öt átviteli eszközön megközelíti a lehetséges maximális fizikai sebességet (3. ábra).

Minden sikeresen átvitt csomagra (a hozzá tartozó csomagméret függvényében) az ábra egy pontja jelzi az elért adatsebességet. Kis csomagoknál az átvitel mértéke (throughput) kissé alacsonyabb (pl. a 64 bytes-os csomagoknál 1,7-1,8 Mb/s), de a csomagméretek növekedésével ez az érték konvergál a 2,3 Mb/s-hoz, miközben hullámmást mutat az AAL 5 keret kitöltése (padding) miatt. Amint elérte a szabványos Ethernet keret hosszát (1522 byte-os tartalom), az átvitel nullára esett vissza.

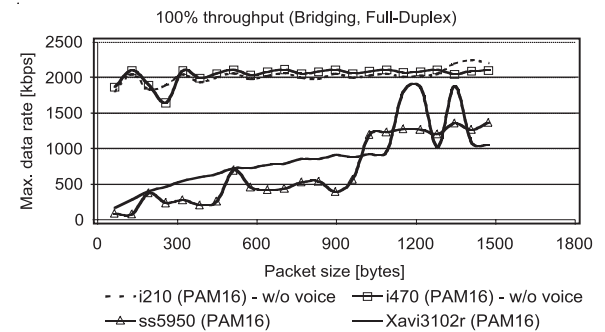
Mivel a 2B1Q vonali kódolás kevésbé hatékony, mint a 16 szintű trellis kódolt TC-PAM, nyilvánvaló, hogy kedvezőbb az átviteli jelleggörbe, ha az eszközök PAM 16 kódolást használnak (3/a. ábra). Mindemelllett a különbség így sem haladja meg a vonalsebesség 10%-át, és az eredmények mindkét irányban hasonlóak (upstream és downstream). Nem tapasztaltunk jelentős eltérést különböző szoftverek miatt sem, és az sem jelentett különbséget, ha 10 vagy 100 Mb/s-os kártyával csatlakoztunk a hálózati (LAN) interfészhez. A többi SHDSL átviteli eszközt megmértük mind duplex, mind fél duplex módban, de az áttekinthetőség érdekében csak négyet ábráztunk a 3. ábrán.

A 3/b. ábra szerint, a 100%-os átviteli görbe bridge-elt duplex módban jelentős különbségeket mutat a négy vizsgált átviteli eszköz között. Mivel az Attane i210 és az Attane i470 csak egy-egy Ethernet port csatlakozóval rendelkezik a LAN (Local Area Network) interfészen, bridge-elt módban sorba tudják rendezni a duplex szolgáltatást. Átviteli karakterisztikájuk megközelítően olyan, mint a fél duplex módban (lásd. 3/a. és 3/b. ábrák). Másrészt a Xavi3102r hálózati interfésze rendelkezik egy 4 portos hub-bal és az SS5950-hez tartozik egy 8 portos Ethernet switch. Ez duplex módban csomagutközést okozhat.

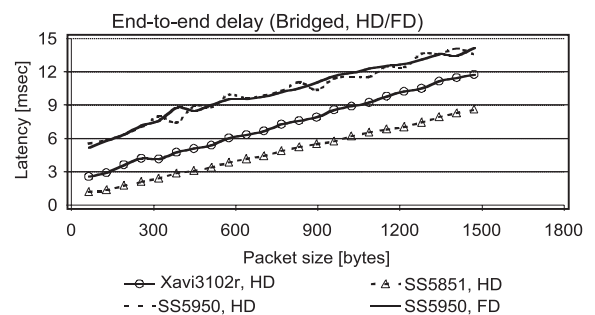
A maximum átviteli sebesség 0%-os csomagvesztés mellett kevesebb, mint 500 kb/s (a két utóbbi eszközön), amikor a csomagméretek nem érik el az 500 byte-ot. Mindemelllett ha megengedünk egy kis mértékű csomagvesztést, jobb átviteli karakterisztikát érhetünk el. 10-20% csomagvesztés mellett, kis csomagokra (64-től 192 byte-ig) 2 Mb/s sebesség is elérhető (3/d. ábra). Hosszabb csomagoknál általában jobb átviteli sebes-



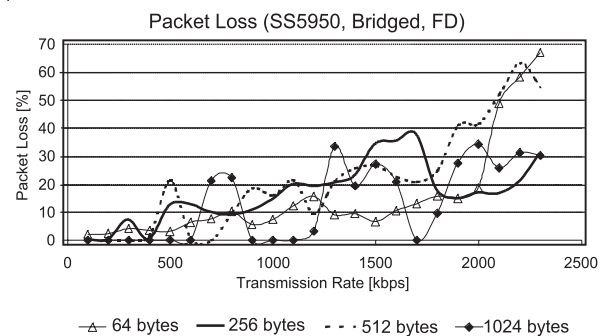
3/a. ábra Fél duplex átvitel



3/b. ábra Duplex átvitel



3/c. ábra Késleltetés



3/d. ábra Csomagvesztés bridgelt módban

ség is megvalósulhat, de átlagosan az átviteli sebesség nem lesz több, mint a fizikai sebesség 50%-a. A nagyobb átviteli sebesség érdekében számolnunk kell a növekvő csomagvesztéssel, pl. 1500 kb/s-nál ez az arány 30%, 2000 kb/s-nál a 40%-ot is meghaladja.

A full-duplex bridge-elt módban fellépő ütközés okozza a csomagvesztés 10-40%-os arányát. Szeretnénk hangsúlyozni, hogy ez a viselkedés nem az Efficient Network SS5950 vagy a Xavi 3102r eszközök hibája, hanem nagy forgalmi terhelés mellett normális jellemzője minden hub-nak vagy switch-nek, amikor az IP fölött már nincs megbízható protokoll. Megbízható protokollok (úgy, mint FTP, vagy TCP/IP) elérik a közel maximális sebességet (hozzávetőlegesen 1900 kb/s), ahogy azt az 5.5.-ös eset mutatja.

A végpontok között (egy irányban) mért csomagkésleltetés 2-5 msec-től (64 byte-os csomagok küldése) 10-14 msec-ig (1500 byte-os csomagméret) lineárisan növekszik. A csomagok méretével arányos késleltetés a nagyobb csomagok összerakásához szükséges idő növekedése miatt lép fel (3/c. ábra). Különböző bitsebességek (0,1 Mb/s a maximális átvitelig), de állandó méretű csomagok esetén csomagvesztés nélkül a végpontok közötti késleltetésben nem tapasztalható jelentős eltérés. A 3/c. ábrán bemutatott értékek az átlagos késleltetést mutatják a hozzá tartozó csomagméret szerint 0,1 és 1,7 Mb/s között. Nagyobb bitsebességeknél 1,7 és 2,3 Mb/s között a rövid csomagok 0,1-10%-os arányban vesznek el. Az Ethernet interfész jellemzői miatt (MTU méret = 1500 byte) az 1522 byte-nál (payload) nagyobb csomagok mindegyike elvesz (pl. 1536 byte). Méréseinkkel összhangban a legjobb teljesítményt (pl. a legkisebb késleltetést) az SS5851 éri el (1,5 msec 64 byte-os csomagoknál), amelyet a Xavi3102r (2,5 msec) követ, míg az SS5950 a 64 byte-os csomagokat 5 msec alatt dolgozza föl és továbbítja.

Az SS5950 esetén az egy irányban mért átlagos csomagkésleltetés duplex módban hasonlóan viselkedik, mint fél duplex módban, azaz a késleltetés szinte lineárisan növekszik 5 msec-ről (64 byte) 14 msec-re (1500 byte). Természetesen FD módban csak az értékeket vesszük figyelembe, ahol 100%-os az átviteli sebesség. Az SS5851 és a Xavi3102r hasonló késleltetési eredményeket produkál úgy full-duplex, mint fél duplex módban, és ezért ezt nem tüntettük fel a 3/c. ábrán.

5.2. Vizsgálat:

Route-olt üzemmód: HD/FD, kétirányú forgalom

(1. ábra 2. útvonal és 1. oszlop a 2/a. ábrán)

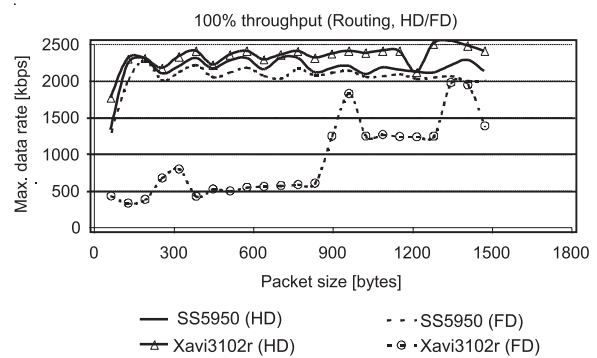
A 4/a. ábra mutatja az átviteli eredményeket, mind fél duplex, mind pedig duplex módban két CPE-re, nevezetesen az SS5950-re és a Xavi3102r-re. A görbék hullámzását az AAL5 keret kitöltő byte-jai (padding) okozzák. Az átviteli sebesség több mint 2 Mb/s, kivéve a 64 byte hosszú csomagokat az SS5950 eszköz esetében.

Érdekességként megemlíthetjük, hogy a Xavi3102r fél duplex módban 1300 byte-os csomagméretnél nagyobb sebességet ér el, mint a beállított fizikai bitse-

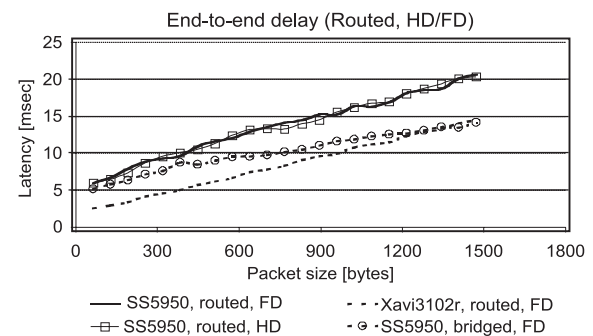
besség (pld. 2,52 Mb/s (!), míg a jelzett fizikai sebesség 2,32 Mb/s). A 4.a ábrán látható Xavi3102r átvitele route-olt full-duplex módban hasonló karakterisztikát mutat, mint bridge-elt full-duplex módban (3/b. ábra), így jóval elvárásaink alatt marad.

Elemelve az egyirányú késleltetést a Xavi3102r route-olt módjában, HD/FD esetekben (2,5-től 14,5 msec-ig növekedve), az eredmények 0,54 msec-ot lépnek 64 byte-onként (lásd. 4.b ábra). Felhívjuk a figyelmet a különbségekre a bridge-elt módhoz képest (ahol 2,5-től 12 msec-ig növekszik). Route-olva - összehasonlítva a bridge-elt móddal - a hosszabb csomagok átviteli ideje (20%-kal) hosszabb.

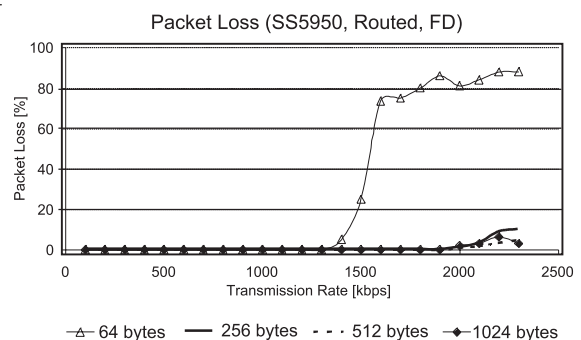
Hasonlóan érvényes ez a feltétel SS5950 esetén is; a bridge-elt (5msec; 14msec) intervallum route-olva eltolódik a (6msec; 20msec) időintervallumra, miközben a csomagméretek 64 byte-ról 1500 byte-ra növekednek. Továbbá nincs jelentős különbség az átlagos késleltetésben, ha a 10 Mb/s-os hálózati interfészt (LAN)



4/a. ábra Átviteli sebesség



4/b. ábra Egyirányú késleltetés



4/c. ábra Csomagvesztés routeolt módban

felcseréljük 100 Mb/s-osra (kicsit kisebb késleltetés érhető el). Hasonlóan az átviteli sebességben sincs számottevő eltérés az Ethernet interfész 10-ről 100 Mb/s-osra cserélésekor. A 4/c. ábra a csomagvesztési jelleget mutatja a SS5950 eszköz full-duplex route-olt módjában. 64 byte-os csomagok esetén 1500 kb/s bitsebességtől kezdődően 80% fölötti csomagvesztés figyelhető meg, ugyanakkor a 256 byte méretű csomagok veszteség nélkül átvihetők egészen 1900 kb/s bitsebességig. Ennél hosszabb csomagok legfeljebb 10%-os csomagvesztést szenvednek 2000 kb/s sebesség fölött.

**5.3. Pont-pont összeköttetés:
PPP ATM felett, HD/FD**

(2. útvonal az 1. ábrán és 4. oszlop a 2/a. ábrán)

A vizsgált átviteli eszközök egyike sem alkalmas az Ethernetes pont-pont összeköttetésre (PPP over Ethernet) az 1. táblázatban leírt szoftververzióikkal, de mindegyiken megvalósítható az ATM-es pont-pont összeköttetés (PPPoA). A PPPoE kapcsolat létrehozása érdekében egy szoftveres alkalmazásnak jelen kell lennie az előfizetői PC-n, és az SHDSL eszköznek bridge-elt módban kell futnia. Mivel műszereink sem illeszkednek a PPPoE elrendezéshez, PPPoE módban nem tudunk teljesítménytesztet végrehajtani. Más esetben (PPPoA) az eszközök routerként viselkedve eliminálják az Ethernet kereteket az adatfolyamból.

Amint az ATM virtuális kapcsolat létrejön az átviteli eszköz WAN (Wide Area Network) interfésze és a gerinchálózati router között, a pont-pont összeköttetést (lásd. 1. ábra, 2. útvonal) egy autentikáló eljárás követi a modem és az AAA (Authentication, Authorization and Accounting) szerver között; esetünkben egy PAP (Password Authentication Protocol) típusú autentikáció zajlott le. A modem ezután IP címet kap a Radius szervertől, amelyet követően elkezdődhet a mérés.

Az 5/a. ábra mutatja, hogy a PPP fél duplex módban a hibamentes átviteli sebesség nagyságrendileg azonos a route-olt (PPP nélküli) konfigurációban elért eredményekkel. Ellenben – PPP full-duplex módban - a PPP összeköttetés átviteli képessége drámaian visszaesik 1300 kb/s sebesség alá, ráadásul a 64 byte-os csomagokra nézve az átviteli görbe (melyet 0% csomagvesztés mellett értelmezünk) nullát mutat, amelynek oka egy 3%-os csomagvesztési arány (5/c. ábra). Általában véve sokkal magasabb csomagvesztés figyelhető meg PPP FD esetben, mint route-olt FD esetben (összehasonlítható a 4/c. és az 5/c. ábrák). Másrészt, ha a késleltetési eredményeket szemléljük nagyban hasonlítanak a route-olt mód késleltetéseihez (5/b. ábra).

**5.4. Vizsgálat:
L2TP + IPSecurity: HD/FD, kétirányú forgalom**

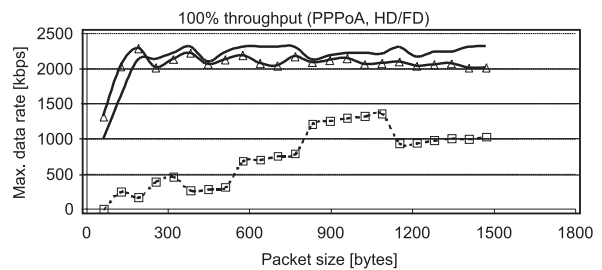
(1. ábra 2. útvonala és az 5., illetve a 6. oszlop a 2/a. ábrán)

Csak egyetlen olyan átviteli eszközt találtunk, amely mind az L2TP és az IPSec protokollt támogatta, ez pedig az Efficient Networks SS5950 eszköze (lásd. 1. tá-

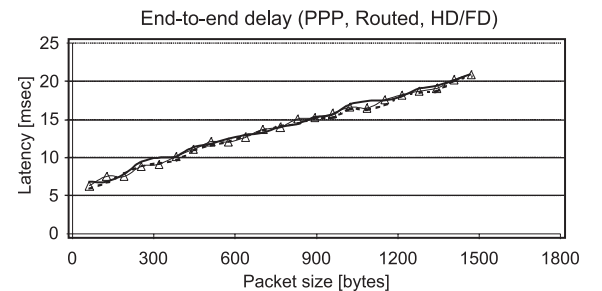
blázat). Amint a két egyenrangú SS5950-es router Internet-kapcsolata létrejön, felépül egy ú.n. alagút, amely lehetővé teszi a biztonságos internetes kapcsolatot, esetünkben az ERX1400 és a Cisco 7200 routereken keresztül, lásd. 1. ábra). A 6. ábra a teljesítménymérések eredményeit mutatja titkosító kódolással és anélkül. A tesztek megindítása előtt a pontos eredmények érdekében szükséges volt előbb megnyitni az alagutat (ping csomagok küldésével a két eszköz között).

Az általunk mért átviteli görbének L2TP esetben két része van: egy lineárisan növekvő szakasz 400 kb/s-tól (64 byte hosszú csomagméret esetén) 2300 kb/s sebességig (itt 900 byte hosszúak a csomagok), valamint egy vízszintes szakasz a továbbiakban 1522 byte-os csomagméretig. L2TP módusú titkosító kódolás esetén az átvitelnek csupán csekély mértékű teljesítménycsökkenését észleltük (6/a. ábra).

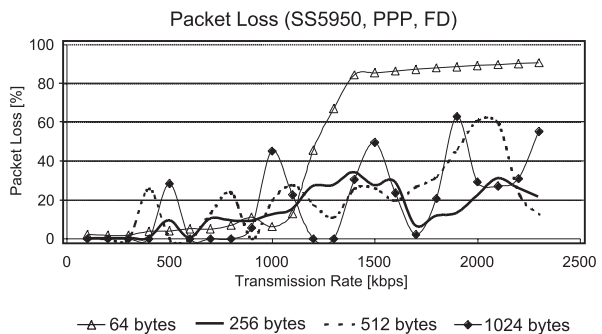
Viszonyítási alapként a route-olt átviteli mód sebességgörbéjét is ábráztuk a 6/a. ábrán. Azonnal kiderül,



5/a. ábra Átviteli sebesség



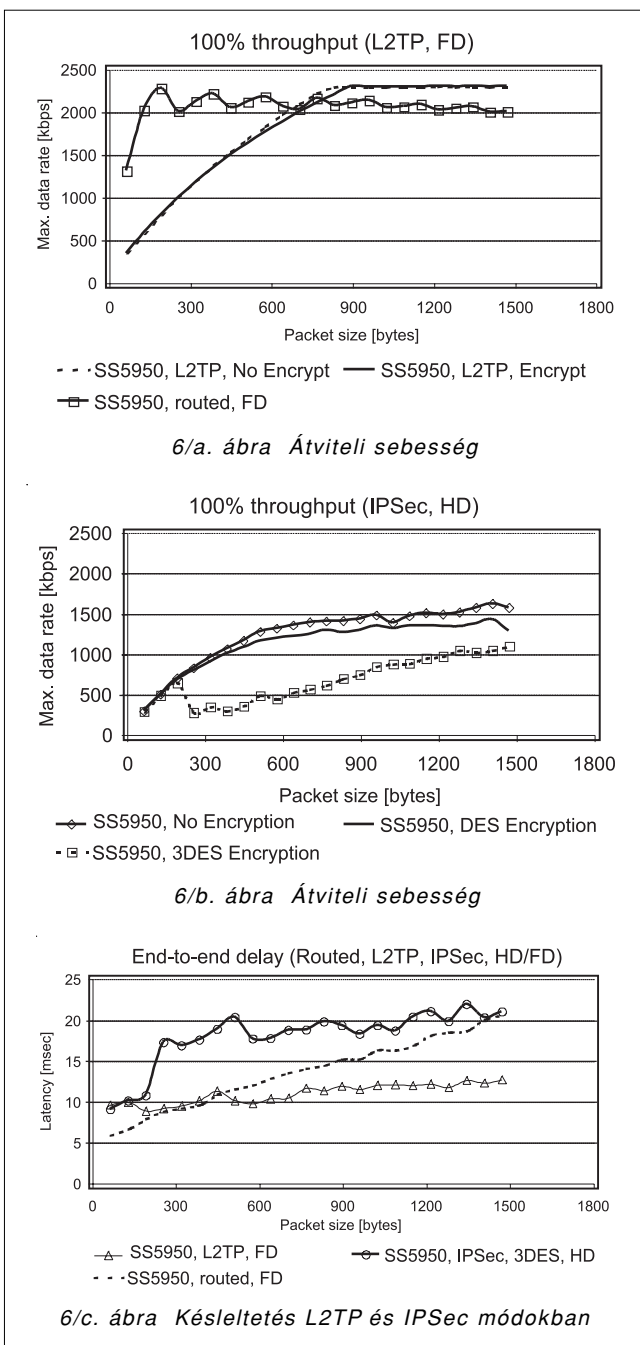
5/b. ábra Késleltetés



5/c. ábra Csomagvesztés PPP módban

hogy ezzel az eredménnyel nem lehetünk elégedettek, hiszen az L2TP beállítás által megnövekedett fejléc nem annyira számottevő, hogy ezt az eltérést indokolná. És miért éppen lineáris az első szakasz? 900 byte-nál hosszabb csomagokra viszont miért jobb az átvitel és mitől kisebb a késleltetés L2TP módban, mint routeolt módban (6/c. ábra)?

A késleltetés csökkenését elsősorban arra vezethetjük vissza, hogy a csomagok nem igényelnek routeolást a gerinchálózatban, mivel az L2TP csatorna már létrejött a két eszköz között. De az átviteli görbe alakjára csak egyetlen magyarázat létezik, a hozzátartozó hardver illetve a L2TP-t kiszolgáló szoftver nem elég gyors a CPE jelen verziójában. Erre azonban egyértelmű választ csak akkor kapunk, ha majd a jövőben sikerül egy újabb verziót is letesztelni.



A 6/c. ábra szerint az átlagos késleltetés L2TP FD módban lineárisan növekszik 9 msec-ről (64 byte hosszú csomagok) 13 msec-ra (1500 byte hosszú csomagok). Összehasonlítva a full-duplex routeolt módot az itteni L2TP móddal, rövid csomagokra nagyobb, hosszabb csomagokra pedig kisebb a késleltetés. Nem tapasztalunk az átlagos késleltetésben szignifikáns különbséget, ha a 10 Mb/s-os hálózati interfészt (LAN) felcseréljük 100 Mb/s-osra.

Az IPSec a biztonságos internetes alkalmazások elegáns megoldásaként ismert, bővebben [Bor00] és [Kar01]. Mindemellett, ha egy pillantást vetünk az adatátviteli teljesítmények eredményeire (6/b. ábra), láthatjuk, hogy az eredmények itt sem túl biztatóak (hasonlóan az L2TP megoldáshoz), holott a fejlécnövekedés ennél a megoldásnál sem indokolja az eredményt. Az általunk elért legnagyobb adatátvitel csupán 1500 kb/s, ami a 2320 kb/s-os fizikai átviteli sáv szélességnek mindössze 66%-a. A csomagok DES (Data Encryption Standard) vagy tripla DES titkosító kódolásával az átvitel még ennél is rosszabb. Például 3DES kódolás esetén a legnagyobb átviteli sebesség 1500 byte hosszú csomagokra 1100 kb/s. Tetszőleges csomagméretre az egyirányú késleltetés IPSec módban közel kétszer olyan nagy, mint L2TP módban (hozzávetőlegesen 20ms). A tényleges válasz itt is a hardver illetve a hozzátartozó szoftverben keresendő.

5.5. Vizsgálat: Hosszú FTP letöltések

Teljesítményvizsgálatunk következő állomásaként egy megbízható adatátviteli kapcsolatot hoztunk létre egy CPE-páros között, azaz FTP (File Transfer Protocol) fájl-forgalommal egészítettük ki a nem megbízható átvitelű IP-forgalomgenerátorral megvalósított adatátviteli eredményeinket. A forgalomgenerátorok helyett nevezetesen két FTP szervert csatlakoztattunk az SS5950 modemek LAN interfészeire, és mindkét irányban fájlküldést kezdeményeztünk. Három különböző méretű állomány letöltését hajtottuk végre: 11, 34, illetve 83 Mbyte. Az eredményül kapott átlagos letöltési bitsebességeket a 2. táblázat tartalmazza.

Az FTP letöltések időtartamai a bridge-elt, routeolt, és a PPP módokban ígéretesnek bizonyultak, míg az L2TP és az IPSec módokban inkább meglepetésszerű eredményeket kaptunk. Az eredmények nem annyira meglepőek, ha az 5.4.-es fejezetet elolvassuk. Kézenfekvő magyarázat lehetne a nagyon rövid nyugták jelenléte a letöltés során, ebben az esetben a 6/a. és 6/b. ábrák szerinti alacsony átviteli jelleggel függ össze. Feltehetőleg a DSP processzor teljesítményének megnövelésével ez a probléma kiküszöbölhető.

5.6. Vizsgálat:

Előfizetői hurok hossza és a bitsebesség

Annak eldöntése végett, hogy megállapítsuk, hogy az előfizetői hurok szabványosak-e vagy sem, mind az öt eszközzel teszteltük az előfizetői hurok sáv szélességét. Az eredményeket a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Modem	Bridge-elt HD [kb/s]	Bridge-elt FD [kb/s]	Route-olt [kb/s]	PPPoA [kb/s]	L2TP [kb/s]	IPSec [kb/s]
SS5950	1918	1828	1896	1920	900	800

2. táblázat FTP letöltések átlagos sebességei

Bitsebesség [kb/s]	ETSI szabvány előírás	Efficient SS5851 (SDSL) Fix	Attane i470 (SDSL) Fix	Attane i210 (SHDSL) Adaptív	Attane i470 (SHDSL) Adaptív	Efficient SS5950 (SHDSL) Adaptív	Xavi 3102r (SHDSL) Adaptív
2304	2.23	3.0	3.2	3.4	3.2	2.8	3.3
2048	2.45	3.3	3.3	3.6	3.4	3.0	3.55
1536	3.12	3.7	3.6	4.0	3.75	3.4	3.95
1168	--	3.75	3.7	4.45	4.15	3.7	4.4
768	4.33	3.8	3.8	5.1	nem szink.	4.2	5.0
584	--	3.8	4.0	5.4	nem szink.	4.7	5.4
384	5.70	4.0	4.1	5.9	nem szink.	5.4	5.9

3. táblázat

Fehérzajmentes előfizetői hurok teszt (értékek: határtávolság [km])

Beállításaink a következők voltak: teszthurok az ETSI ETR 152 (SDSL-hez) és ITU-T Q.991.2 (SHDSL-hez), R 0.4mm PE (Polyetilén) kábel, illesztés nélkül (1 hurok), DSLAM/CPE jelteljesítmény=13,5 dBm (szabványos) vagy változó 8,5-14,5 dBm 2304 kb/s bitsebességnél nagyobb esetben, amikor a hurok 1,1 km-nél rövidebb, a megkívánt tartalék = 3 dB a DSLAM-ben, 0dB a CPE-ben, fehér zaj nélkül, fix vagy adaptív CPE módban. További információk lásd a [Dac01]-ben.

A következőket figyeltük meg: 768 kb/s sebesség alatt az Attane i470 és az SS5950 nem elégti ki az ETSI szabvány követelményeit. Ezen a sebességen az Attane i470 nem is szinkronizál. Feltételezéseink szerint az eszközt legalább 660 kb/s konstans bitsebességre tervezték, hogy az adatforgalom mellett még kiszolgálja az AAL1 alapú 8 hangcsatornát. Mindezen túl az eszközök egyike sem volt képes szinkronizálni adaptív módban 192 kb/s-on 5 km-nél hosszabb előfizetői huroknál.

Példaként vettük az Attane i470 eszközt, amely fejlanlja úgy a 2B1Q, mint a PAM16 vonali kódolást egy szimpla váltással a konfigurációs menüben, majd az elért bitsebességek tekintetében összehasonlítottuk a korábbi SDSL-t az SHDSL-lel. Az eredményt a 3. táblázat mutatja, miszerint 35-45% távolságbeli növekedés tapasztalható egy adott bitsebesség mellett (pl. 1168 kb/s). Mindemellett a legnagyobb vonali sebességre (2320 kb/s) a hurok hossza mindkét esetben 3,2 km-nek adódott. Általában az SHDSL sokkal hatékonyabb és jobb spektrum kompatibilitást mutat, mint azon rendszerek, amelyek a régebbi szimmetrikus technológiát - beleértve HDSL-t és SDSL-t - 2B1Q vonali kódolással valósítják meg.

Következtetés

A cikk egy olyan vizsgálatsorozatot mutat be, amellyel elemezhető az adatforgalom szimmetrikus DSL hálózatokban, miáltal lehetőségünk van egy általános összehasonlításra különböző gyártók berendezései között. Így módon számos különbséget mutattunk ki a teljesít-

ménymérések során. Részletesen vizsgáltunk bridge-elt, route-olt, PPP, L2TP és IPSec kapcsolatot, különös tekintettel a hibamentes átvitelt biztosító maximális sebességre, csomagkésleltetésre és csomagvesztésre. A biztonságos adatátvitelhez (L2TP, IPSec) kapcsolódó vizsgálatunk során kifejtettük, hogy szükség van még ezen megvalósítások feljavítására gyorsabb DSP processzorok alkalmazásával. A szerzők reményüket fejezik ki, hogy jelen cikkükkel hasznos információt tudnak nyújtani az SDSL technológiát bevezetni óhajtó szolgáltatóknak.

Irodalom

- [Bal98] Balogh Tamás, A digitális előfizetői vonalak evolúciója, Magyar Távközlés, 1998/4, pp.23–28.
- [Bre02] S. Bregni, R. Melen, Local Loop Unbundling in the Italian Network, IEEE Communications Magazine, Vol.40, no.10, October 2002, pp.86–93.
- [Bor00] M.S. Borella, Methods and Protocols for Secure Key Negotiation Using IKE, IEEE Network, Vol.14, July/Aug. 2000, pp.18–27
- [Dac01] D. Daecke, Overview of SHDSL System Performance, ETSBC 2001, pp.2–6.
- [ERI02] Az Emitel az Ericssont kérte fel ADSL széles-sávú hozzáférési berendezések telepítésére www.ericsson.com/hu/press/eripress_2002_10-25_511.shtml
- [Hab02] A. Habib, H. Saiedian, Channelized Voice over Digital Subscriber Line, IEEE Communications Magazine, Vol.40, no.10, October 2002, pp.94–100.
- [Hum97] M. Humphrey, J. Freeman, How xDSL Supports Broadband Services to the Home, IEEE Network, Vol.11, January/February 1997, pp.14–23.
- [IPC04] A Magyar Távközlési Rt. általános szerződési feltételei IP Complex Plusz szolgáltatásra, 2004.04.01., www.matav.hu/magyar/mtav/aszf_mod/ipcomplexplusz_torz.pdf
- [ITU01] ITU-T, Single-pair High-bit-rate DSL, G.991.2, Geneva, February 2001
- [Kar01] A. Kara, Secure Remote Access from Office to Home, Communications Magazine, October 2001, pp.68–72.
- [TSAG01] Telecommunication Standards Advisory Group, Report on Testing of Broadband Interface in Local Access Link – Short-Loop Condition, TSAC Paper No.24, September 2001, pp.1–12.