

Minőségi szolgáltatások ADSL környezetben

NAGY TIBOR

Cisco Systems, Inc.
tinagy@cisco.com

Kulcsszavak: QoS, ADSL, forgalomszabályozás, triple-play

Az ADSL környezetben megjelenő értéknövelt szolgáltatások (hang, IPTV, video streaming) átvitele új igényeket támaszt a hálózattal szemben. Ezeknek egy része megnövekedett sávszélességigényben jelentkezik, másik része a hálózat késleltetésére, illetve torlódás esetén a csomagvesztésre érzékeny alkalmazások megfelelő szintű kezelésére vezethetők vissza. A jó minőségű átvitel biztosítására a sávszélesség növelése nem minden esetben nyújt kielégítő megoldást, a Cisco Systems QoS tervezésre vonatkozó dokumentumai még 100 Mbit/s-os, sőt annál nagyobb sebességű Ethernetes hálózatokban is javasolják a paraméterek megfelelő hangolását. A sokfelhasználós ADSL-hálózatokban továbbá különösen gyakori igény, hogy a hálózat különböző pontjain megjelenő felhasználói sávszélességeket intelligens módon – a szolgáltatási szerződésnek megfelelően – korlátozni kell. Ezekre az ADSL környezetben jelentkező feladatokra a Cisco Systems egy speciális QoS modellt dolgozott ki, amelynek architektúrájáról és gyakorlati megvalósításáról a cikkben részletes információt adunk.

1. Bevezetés

Az IP hálózatokon – így az Interneten is – alkalmazott technikák fejlődése, illetve a szélessávú hozzáférés elterjedése lehetővé teszi a szolgáltatók számára olyan értéknövelt szolgáltatások kifejlesztését, mint a garantált minőségű hangátvitel, valamint az ADSL környezetben is biztosított IPTV szolgáltatás megjelenése.

Az Internet-szolgáltatás mellett nyújtott telefonkapcsolat és az IPTV új követelményeket támasztanak a meglévők mellé, amelyeket a gyártók speciális QoS technológiák alkalmazásával igyekeznek kielégíteni.

A Cisco Systems már több, mint egy évtizede felismerte a multimédiás alkalmazások jelentőségét és hálózati eszközeiben – útválasztók, kapcsolók, egyéb komponensek – sorra jelentek és jelennek meg olyan mechanizmusok, melyek képesek nagy pontossággal azonosítani (classification), megjelölni (marking), és prioritással kezelni (scheduling with prioritization) késleltetés-, illetve csomagvesztés-érzékeny forgalmakat.

A forgalom precízen kontrollált részének bufferelési technikák nélküli eldobását végző alkalmazását „policing-nek”, buffereléssel megvalósított – a forgalomra nézve kevésbé drasztikus – technológiáját „shaping-nek” nevezzük.

2. Felhasznált hálózati komponensek

A sokunk által használt ADSL környezetben a QoS technológiákat az aggregációs hálózatban a következő komponenseken valósítjuk meg:

- CPE (Customer Premises Equipment, azaz az ügyfélnél elhelyezett eszköz)
- DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer, azaz ADSL vonalakat fizikailag aggregáló eszköz)
- BNG (Broadband Network Gateway,

korábban BRAS - Broadband Remote Access Server, azaz a felhasználói forgalmat logikailag aggregáló eszköz)

- A BNG és a DSLAM közötti napjainkban leginkább Ethernet-alapú aggregációs hálózat

Mivel a megfelelő QoS paraméterek által biztosított szolgáltatás végponttól végpontig értelmezendő, természetesen a hálózat többi elemének (gerinchálózati útválasztók, tartalom szolgáltató szerverek stb.) szintén biztosítani kell a csomagok megfelelő szintű kezelését (megjelölés, prioritizálás stb.).

Az aggregációs komponensekre vonatkozóan a DSL világban meghatározó ajánlásokat készítő DSL Fórum számos dokumentuma ad QoS iránymutatást. Ezek közül a javasolt QoS architektúrákról, az elvárt paraméterekről és a technológiai megvalósítási modellekről leginkább a TR-059 [5] ajánlásban (ATM alapú aggregációs hálózat a DSL mögött) és a TR-101 [6] (Áttérés ATM alapú aggregációról Ethernet alapú aggregációra) megfelelő fejezeteiben olvashatunk.

Tekintettel arra, hogy manapság leginkább az Ethernet-típusú uplinkkel rendelkező DSLAM-okat használják a szolgáltatók, az alábbi technológiai áttekintés elsősorban erre a környezetre értelmezendő, habár fontos tudni, hogy a TR-059-ben leírt ATM alapú aggregációs modellnél alkalmazott QoS alapelvek nagy része megfeleltethető az Ethernet modellnél alkalmazottaknak.

Az 1. ábra egy tipikus Ethernet-alapú aggregációs környezetet szemléltet.

3. QoS megvalósításának követelményei az aggregációs hálózatban

Az ügyfélnél kihelyezett eszköztől a logikai aggregációt végző BNG eszközig terjedő komponensek esetében az alábbi követelményekkel kell számolni.

3.1. Általános követelmények

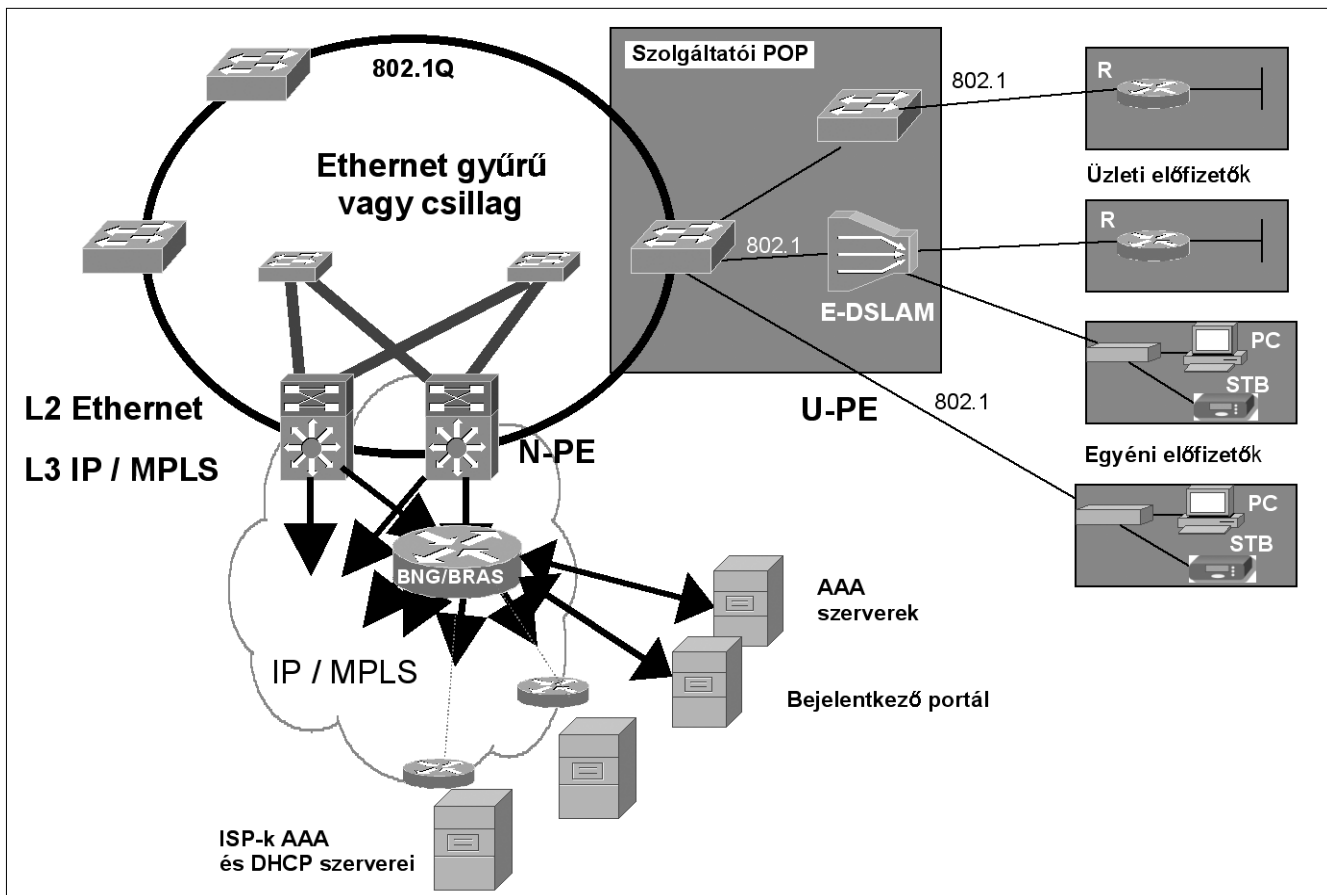
- Kerüljük el a downstream (előfizető felé) irányuló forgalom kontroll nélküli csomagvesztését a DSLAM eszközön.
 - Ez akkor lehetséges, ha a DSLAM támogatja az előfizető irányába néző ADSL interfészén a megkülönböztetett torlódás vezérlést (differential scheduling). A megvalósítás lehet több ATM virtuális áramkörre alapuló (úgynevezett multi-VC megoldás), ahol a különböző típusú forgalmakat különböző ATM PVC-ken visszük az előfizető ADSL CPE-je felé, vagy DiffServ [7] technológiára épülő, ahol kiemelt prioritással (EF) kezeljük az érzékeny forgalmat.
 - Amennyiben a DSLAM nem támogatja az előzőekben említett technológiákat, akkor a DSLAM előtti eszköz(ök)-ben kell megvalósítani azokat (policing/shaping).
- Egy szolgáltatási osztályhoz minimálisan garantált sávszélesség biztosítása
 - Késleltetés és csomagvesztés tekintetében más szolgáltatási osztályoktól független minimum sávszélességet kell megfelelő prioritációval biztosítani, hiszen az előfizető jogosan elvár egy elfogadható le- és feltöltési sebességet.
- Egy szolgáltatási osztályhoz (pl. Internet) a maximális igénybevehető sávszélességre vonatkozó korlátok alkalmazása.

- Forgalmi korlátok érvényesítése a forgalom mindkét irányára alkalmazva (policing/shaping). Ez azért fontos, mert az IP a technológiából fakadóan sávszélességigényes, elveszi, ami csak rendelkezésére áll. Természetesen a szolgáltató nem szeretné, ha valamely előfizetője esetleg más előfizető forgalmának kárára venne igénybe túl nagy sávszélességű szolgáltatást.
- Valamely szolgáltatási osztály által nem használt sávszélesség használatának lehetősége más forgalmi osztályok számára. Ha már IP-ről beszélünk, miért ne alkalmaznánk a technológia által automatikusan nyújtott dinamikus sávszélesség kihasználást, hiszen itt nincs fix sávszélesség-foglalás, mint korábban például az időosztásos (TDM) rendszereknél.

3.2. Üzleti előfizetők követelményei

- Az általános követelményeken túl az üzleti előfizetőknek szóló csomagok követelményei az alábbiak.
- Egy adott előfizető maximális aggregált sávszélességének korlátozása
 - Ahhoz, hogy úgy biztosítsuk a maximális sávszélességet, hogy közben szolgáltatási osztályonként a garantált minimális sávszélesség azért rendelkezésre áll, valamint a más szolgáltatási osztályok által nem használt sávszélesség igénybe vehető, hierarchikus QoS implementációra van szükség, amellyel „per előfizető” alapon sha-

1. ábra Ethernet-alapú aggregációs környezet



ping algoritmust, a visszafogott forgalmon belül pedig a forgalmi osztálynak megfelelő prioritizálást hajtunk végre (például a hangcsomagokat előre vesszük a bufferelési technikáknál).

- Támogatni kell az úgynevezett QinQ aggregációs modellt, amely tulajdonképpen a VLAN azonosítóval ellátott forgalom újabb addicionális VLAN azonosítóval történő ellátását jelenti.

- Ez azért lényeges, mert előfordulhat olyan szituáció egy nagyobb hálózatban, hogy az IEEE 802.1q szabványban rögzített 12 bites VLAN azonosító által biztosított maximálisan 4096 azonosító kevésnek bizonyul, mert egy adott aggregációs eszköz Layer3 interfészén több, mint 4096 előfizető ül.

A QinQ technikánál viszont 2x12 bit áll rendelkezésre, az előfizetőt egyértelműen azonosíthatja a belső VLAN azonosító, a külső azonosító pedig az üzleti előfizetők egy csoportját, például a DSLAM-ot jelölheti.

3.3. Egyéni előfizetők követelményei

Az általános követelményeken túl az egyéni előfizetőknek szóló csomagok követelményei:

- Több különböző ponton történő forgalom betáplálása a hozzáférési hálózatba, multicast (IPTV) forgalom továbbításának lehetőségével

- Internet-nagykereskedelmi (wholesale) modell támogatása.

- Hasonló logikai alapon, mint korábban az ATM technológiánál, a Virtuális Útvonal (VP) – Virtuális Áramkör (VC) modellnél.

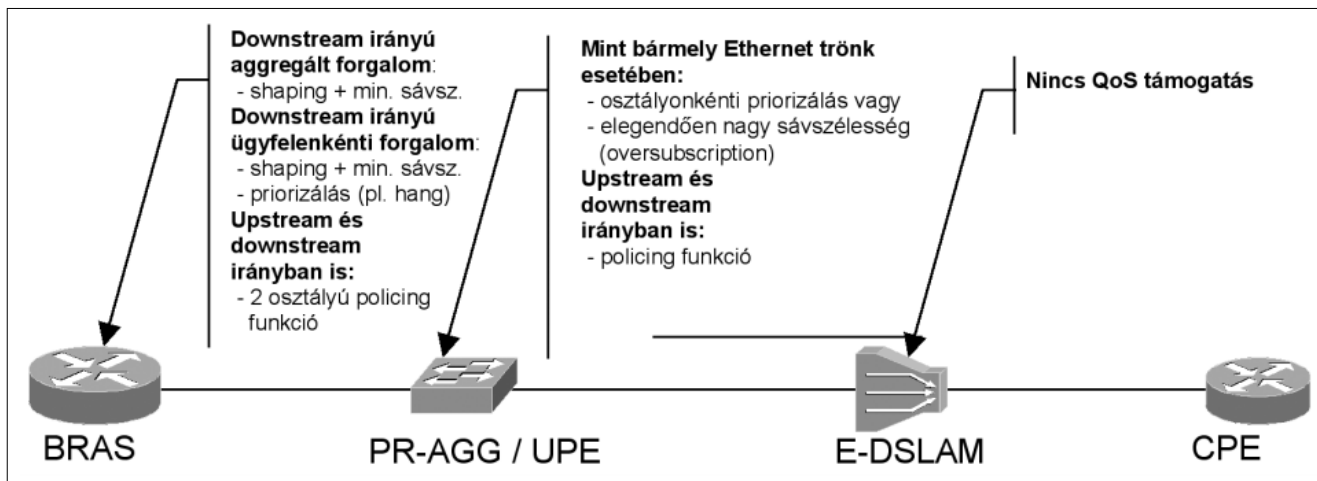
- Per session alapú szolgáltatás kezelés (session-on PPPoE, illetve IP sessiont értünk).

- Előfizetői vonalanként több sessiont is tudni kell kezelni. Gyakran előfordul ugyanis, hogy az Internetes forgalom PPP beágyazással, az IPTV pedig natív IP-ben érkezik az előfizetőhöz.

- VLAN aggregációs modell támogatása.

- Nagy számú előfizető esetén kevés lehet a normál VLAN címke által biztosított 4096 azonosító, mint ahogy azt korábban kifejtettük.

2. ábra



Habár a DSL Fórum TR-101-es ajánlása nagy hangsúlyt fektet a DSLAM QoS képességeire, ezeket a mechanizmusokat a gyakorlati megvalósítás hiánya miatt a szolgáltatók jelenleg nem, vagy csak korlátozott mértékben képesek igénybe venni.

Éppen ezért a DSLAM mögötti aggregációs hálózati komponenseknek (Ethernet switch, BNG/BRAS) kell biztosítaniuk a hiányzó funkciókat.

4. A Cisco QoS modellje DSL architektúrára

A megvalósításra a Cisco számos modellt dolgozott ki, közülük most a klasszikus ATM-alapú aggregációhoz leginkább hasonló (VP és VC szinten is forgalomszabályzott (shaped)) architektúra részletes bemutatása következik.

Nézzük meg, milyen technológiákat alkalmaz a Cisco az aggregációs eszközökben.

- *VP shapingnek megfelelő technológia*

A felhasználók egy csoportjának forgalmát egy előre definiált értékre szabályozzuk le (shaping), ahol az egyéni előfizetők egy csoportját leginkább egy VLAN azonosítóval, az üzleti előfizetők egy csoportját pedig a QinQ címke külső VLAN értékével azonosítjuk.

Az oversubscription, azaz vonali túlkönyvelést nem az előfizetői csoportok leszabályzott forgalmának az interfész sebességénél nagyobb értéke adja, az már a VLAN-ok sáv szélességének kialakításakor megtörténik. Mivel nem előfizetőnkénti alapon fogjuk vissza a forgalmat, hanem előfizetői csoportonként, az ADSL felett lévő ATM technológia használatából fakadó overhead nem jelentős.

- *VC shapingnek megfelelő technológia*

Az előfizető irányába menő forgalmat a DSL vonal szinkronizálási sebességére, vagy az alá visszük le.

Az egyes egyéni előfizetői forgalmak azonosítása a DHCP-ben használt 82-es opcióval történhet, az üzleti előfizetőket a többszörös VLAN tag esetén pedig a címkék azonosítják egyértelműen.

- Mivel az interfész-sebességnél nagyobb az előfizetői forgalmak összesített értéke, ezért minimális sávszélesség-garancia is szükséges.
- A késleltetés-, illetve csomagvesztés-érzékeny forgalmi típusoknak (hang, videó) kétszintű prioritizációt kell biztosítani.

Ennek a javasolt megoldásnak fontos előnye, hogy nem kell QoS támogatás a DSLAM eszközben, továbbá támogatja a nagykereskedelmi (wholesale) koncepciót, hátránya, hogy Denial-of-Service (DOS) támadások ellen az előfizetőtől jövő forgalmat még külön korlátok között kell tartani, például policing funkció segítségével, hogy ne legyen képes egyetlen előfizető a szolgáltatásban zavart okozni.

5. Fragmentáció, avagy a csomagok feldarabolásának szükségessége

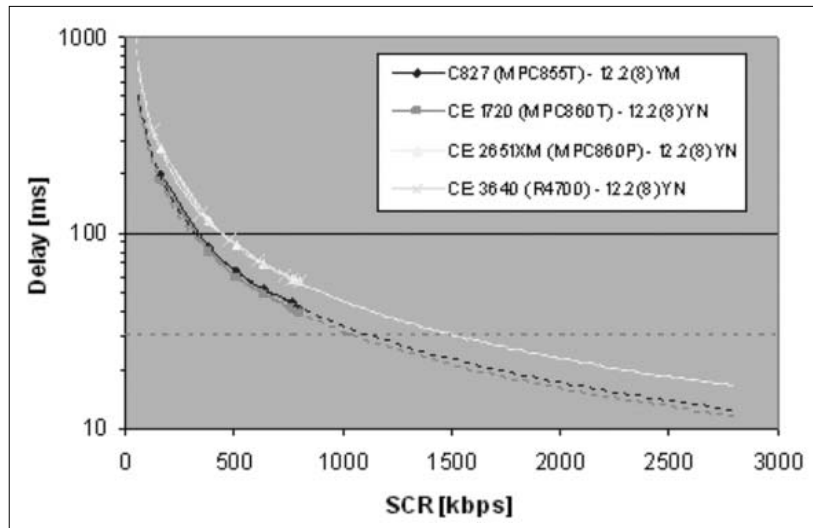
Az ADSL technológia fontos jellemzője az aszimmetria, tehát az előfizető felé (downstream) és az előfizetőtől jövő (upstream) forgalom sávszélességének különbözősége. A downstream-forgalom maximuma 8 Mbit/s ADSL és 25 Mbit/s körüli ADSL2+ technológia esetén. Az upstream-forgalom viszont ezzel szemben gyakran csak 512 kbit/s, maximális értéke 1 Mbit/s körüli ADSL2+ esetén.

A hangforgalom megfelelő minőségének biztosítása érdekében a késleltetését és késleltetésének változását minimális értéken úgy lehet tartani, ha a végponttól-végpontig számított késleltetésben fontos szerepet játszó serialization komponenst, vagyis a csomagok a vonalra helyezésének időtartamát minimális értéken tartjuk.

Könnyen belátható, hogy minél rövidebb csomagokat kell a vonalra rakni (vagy minél gyorsabb vonalra rakjuk rá őket), annál rövidebb ideig tart ez a művelet, tehát adódik a megoldás, hogy a hosszú – FTP forgalom esetén Ethernet-becsomagolással 1500 byte-os adatcsomagokat – fel kell darabolni és a feldarabolt adatcsomagok közé hangcsomagokat lehet illeszteni.

Ha ezt a műveletet a BRAS végzi, akkor a végpontnak (CPE) természetesen vissza kell állítani a feldarabolt keretből az eredeti keretet.

A DSL környezetben rendszerint útmutató DSL Fórum konzervatív módon 30 ms-ben határozta meg a hozzáférési vonal késleltetésének maximumát, ahhoz, hogy elfogadható minőségű hangszolgáltatást lehessen nyújtani az adott infrastruktúrán. Annak érdekében, hogy ezt az értéket tartani tudjuk, a Cisco különböző CPE berendezéseiben (827,1720,2651,3725 stb.) méréseket végeztek és arra a következtetésre jutott, hogy a korábban általánosságban hangoztatott 768 kbit/s-os határérték, amely alatt a Cisco mindenképpen javasolt valamilyen vonali fragmentációt, ilyen környezetben 1 Mbit/s körüli értékre módosul.



3. ábra Upstream irányú késleltetés alakulása

A 3. ábra a fragmentáció nélküli upstream irányú késleltetési értékeket mutatja a Cisco különböző CPE platformjain.

5.1. Fragmentációs megoldások DSL környezetben

5.1.1. PPPoA környezet

Az ADSL világban korábban elterjedt PPPoverATM (PPPoA) technológia esetében rendelkezésre áll jól definiált szabvány (DSL Fórum TR-59, WT-92 [8]) és megvalósításra is került a korábban tipikusan bérelt vonalakon fragmentációra használt Multilink PPP – Link Fragmentation and Interleaving (MLPPP/LFI) mechanizmus, amely pontosan a fenti követelményeknek megfelelően elvégzi a nagy méretű adatcsomagok feldarabolását (és visszaállítását), valamint középük a kis hangcsomagok beillesztését.

5.1.2. PPPoE környezet

A manapság sokkal elterjedtebb PPP over Ethernet technológia esetében két megoldás is kínálkozik.

- *Multi-VC megoldás*

Jogos elvárás az Ethernetes DSLAM-okkal szemben, hogy ATM QoS-t támogassanak, különböző ATM forgalmi osztállyal működő ATM virtuális áramkörökön különböző típusú forgalmakat szállítva. Ez meg is oldja a problémát, hiszen ennél a megoldásnál nincs szükség a felettes rétegeken fragmentációra, az ATM PVC-k megfelelő módon elkülönítik az Internetes adatforgalmat a hang-, videó- illetve IPTV-forgalomtól.

Természetesen ehhez arra van szükség, hogy a különböző forgalmak szétválasztása és megfelelő paraméterekkel ellátott virtuális áramkörökbe (PVC) irányítása mind a DSLAM, mind pedig a CPE oldalon támogatott legyen.

Több lehetőség is adott a hozzárendelés megvalósítására:

- Az Ethernet fejléc 802.1p mezőjének értéke alapján.
(Ez az úgynevezett VC bundlingnak felel meg.)

- A csomagot fogadó fizikai vagy logikai interfész alapján (tipikusan VLAN azonosító a DSLAM oldalon és fizikai interfész a CPE oldalon).
- A DSLAM-ban, illetve a CPE eszközben lévő Layer 2-es vagy esetleg Layer 3-as csomag-továbbítási logika alapján.

- *MLPPP/LFI PPPoE esetében*

Amennyiben PPPoE fut a CPE és a BRAS között, a MLPPPoE/LFI egy potenciális megoldás lehet, habár ennek a gyakorlati megvalósítása a Cisco platformokon csak limitáltan áll rendelkezésre.

Problémák a „jól bevált” MLPPP-vel Ethernetes ADSL környezetben:

- Priorizált forgalmi osztály esetén a MLPPP egyszerű PPP fejléccet használ, míg nem priorizált forgalom (fregmentált) esetén pedig MLPPP fejléccet. A PPPoE esetében az összes forgalom fregmentált és MLPPPoE fejléccel ellátott.
- A másik probléma lehet, hogy a MLPPP session végponttól végpontig terjed, ezért amennyiben az ügyfél oldalon PC van és nem különálló CPE berendezés, a PC-n futó PPP sztekknek is támogatnia kell a MLPPPoE-t, ami nem általános.
- A hangcsomagok esetében a feldarabolt adatcsomagok közötti illesztéshez valamilyen intelligens bufferelési megoldásra (shaping with queuing) van szükség, ami PPPoA esetében viszonylag egyszerűen megoldott, itt viszont lefelé (downstream) irányban szolgáltatási osztály/felhasználó szintű forgalom korlátozásra (shapingre) van szükség.

- *ADSL2+*

Az ADSL2+ esetében rendelkezésre áll – megfelelő minőségű rézérpár és korlátozott távolság esetén – akkora sáv szélesség az előfizetőtől a DSLAM felé (upstream), hogy ne legyen szükség fregmentációra. A DSLAM és CPE gyártók döntő többsége jelenleg már olyan berendezést gyárt, amely támogatja az ADSL2+ technológiát.

6. A QoS szabályok beállítása a Cisco aggregációs eszközeiben

A CPE berendezésekben beállításra kerülő szabályok (például hangforgalom esetén prioritizáció) legtöbb esetben manuális módon az eszköz beállító felületéről (GUI vagy CLI) könnyen elvégezhetők.

A logikai aggregációt végző BNG/BRAS eszközön az eddigiekben tárgyalt szabályrendszer beállítását és alkalmazását az egyéni illetve üzleti előfizetők forgalmára leggyakrabban dinamikus módszerrel, RADIUS attribútumok automatikus letöltésével célszerű elvégezni.

A nagy előfizetői bázissal rendelkező szolgáltatók szinte mindegyike ezt a módszert használja, azaz az előfizető irányába menő downstream illetve az előfizetőtől jövő upstream forgalomhoz – amely a BNG (BRAS)

eszközben egy virtuális interfészen keresztül halad – dinamikusan rendelik hozzá a megfelelő QoS szabályokat.

Ez a technológia még olyan környezetekben is kiválóan alkalmazható, ahol a hang és adatforgalom, valamint az IPTV külön válik egymástól a hálózatban.

A Cisco ajánlása Triple-play környezetekre disztributált szolgáltatás termináláson és továbbításon alapszik, tehát az IPTV forgalomnak nem célszerű a BNG-n keresztül haladnia, hanem önálló, Layer3-as szinten processzált forgalomként „route-olódik” a hálózatban.

A BNG eszközön tipikusan Internet forgalomra beállított QoS értékeket tehát a következő módon, három lépésben állíthatjuk be:

- Forgalmi osztályok kialakítása.
- A forgalmi osztályok és a szabályrendszer összerendelése.
- A RADIUS szerver az adott felhasználói név/jelszó párhoz az előre beállított szabályrendszer nevét tölti le az eszközbe, ami aztán a konfigurációban a szabályrendszer alatt definiált parancsokat (forgalomkorlátozás-shaping, policing stb.) egymás után végrehajtja.

A RADIUS szabvány lehetőséget ad úgynevezett gyártóspecifikus attribútumok használatára (VSA), amelyek esetében a VSA mező értéke (szabályrendszer neve) letöltésre és értelmezésre kerül a hálózati eszközben, jelen esetünkben BNG/BRAS-on.

Létezik upstream (VSA37) és downstream (VSA38) irányú attribútum is a különböző típusú forgalmak kezelésére.

7. Universal Subscriber Edge (USE) architektúra

Az eddig tárgyalt metódusok kitűnően alkalmazhatók a Cisco eszközökön, a beállítások finomhangolásával jó minőségű adat/hang/videó továbbítás érhető el.

A hálózati trendeket követő szakértők az ADSL-en nyújtott szolgáltatások jövőbeli kibővülésére hívják fel a figyelmet, azaz olyan értéknövelt szolgáltatásokra számíthatunk, mint a felhasználó által dinamikusan, webes felületen állítható le- és feltöltési sebesség (Turbo gomb használata), vagy a szintén webes felületen beállítható felhasználói profilok megjelenése, amellyel például a szolgáltatásért fizető szülők egyszerű módon tudnak biztonságos tartalomszűrő feltételeket definiálni családtagjaik részére.

Az ilyen típusú szolgáltatási formákhoz a legtöbb esetben egy újabb komponens működtetése szükséges a hálózatban, amelyet Policy Servernek nevezünk. A policy szerver együttműködve az autentikációt, autorizációt és accountingot végző RADIUS szerverrel képes olyan funkciókat biztosítani, hogy az említett szolgáltatás példák lehetővé váljanak.

A technológiai fejlesztők más területeken is komoly eredményeket mutattak fel ebben a tekintetben, jó példa erre a RADIUS CoA (Change of Authorization) kiter-

jesztés, melynek segítségével egy adott IP vagy akár PPP session QoS paramétereinek megszakadás nélkül dinamikusan változtathatók.

8. Összefoglalás

Összefoglalva tehát a szolgáltatók napjainkban izgalmas fejlesztési irányvonalakkal foglalkoznak a tömegekhez eljuttatott szélessávú ADSL szolgáltatás fejlesztésével kapcsolatban, ezek megvalósításához mindenképpen szükség van (lesz) a minőségi szolgáltatás (QoS) paraméterek precíz hangolási lehetőségeire, amelyhez a Cisco eszközökön rendelkezésre álló technológiák megfelelő segítséget nyújtanak.

Irodalom

- [1] Cisco Systems:
DSL Aggregation for Wireline Carriers
http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns568/networking_solutions_solution.html
- [2] Cisco Systems:
Video/IPTV Solutions for Wireline Carriers –
http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns610/networking_solutions_solution_category.html
- [3] Cisco Systems:
Solution for DSL Forum TR-59 architecture, 2004.
- [4] Cisco Systems:
QoS Models for Ethernet-DSL deployments,
Rev.022, 2005-2006.
- [5] DSL Forum TR-059 DSL Evolution –
Architecture Requirements for the Support of
QoS-Enabled IP Services
<http://www.dslforum.org/techwork/tr/TR-059.pdf>
- [6] DSL Forum TR-101 Migration
to Ethernet-Based DSL Aggregation
<http://www.dslforum.org/techwork/tr/TR-101.pdf>
- [7] IETF RFC 2745
An Architecture for Differentiated Services (DiffServ)
<http://tools.ietf.org/html/rfc2745>
- [8] DSL Forum WT-092
Broadband Remote Access Server (BRAS)
Requirements Document,
<http://www.dslforum.org/techwork/tr/TR-092.pdf>

Szakmai elismerések

Folyóiratunk 2006. évi vendégszerkesztői, szerzői, illetve cikkei közül az alábbiak kaptak Pollák-Virág díjat:

Kántor Csaba – a 2006/4. szám vendégszerkesztője

Csillag Kristóf – Dobrowiecki Tadeusz – Istenes Zoltán:

Bevezetés az érvértéképészetbe
(2006/1. szám, pp.23-28.)

Farkasvölgyi Andrea:

Optikai sávú összeköttetések alkalmazása az úrtávközlésben
(2006/2. szám, pp.17-22.)

Takács György – Tihanyi Attila – Bárdi Tamás – Feldhoffer Gergely – Strancsik Bálint:

Beszédjel átalakítása mozgó száj képévé siketek kommunikációjának segítésére
(2006/3. szám, pp.31-37.)

Pintér István:

Beszédjelek pillanatnyi jellemzőinek becslése a Teager-operátorral és a Hilbert-Huang-transzformációval
(2006/8. szám, pp.28-37.)

Ács Gergely – Buttyán Levente:

Útvonalválasztó protokollok vezeték nélküli szenzorhálózatokban
(2006/12. szám, pp.3-11.)

A díjazottaknak gratulálunk!