

IP minőség

oktatási segédanyag az „IP alapú távközlés” c. tárgyhoz

Készült:

Csehi László András

IP minőség és biztonság

című szakdolgozatának felhasználásával.

Szerkesztette: Lencse Gábor

Az anyag témaköre:

Minőségi követelmények a hordozóhálózattal szemben. (QoS, SLA)

Szolgáltatás-minőség biztosításának módszerei IP-alapú távközlő hálózatokban:

IntServ, DiffServ. Az MPLS elve és rendszertechnikai megoldásai.

Tartalomjegyzék

| | | |
|-------|--|--------|
| 1. | Minőségi követelmények a hordozóhálózattal szemben..... | - 3 - |
| 2. | Service Level Agreement..... | - 8 - |
| 3. | Szolgáltatás-minőség biztosításának módszerei IP alapú távközlő hálózatokban | - 12 - |
| 3.1 | IntServ (Integrated Services) | - 12 - |
| 3.1.1 | Controlled Load Service | - 15 - |
| 3.1.2 | Guaranteed Service | - 16 - |
| 3.2 | DiffServ (Differentiated Services)..... | - 17 - |
| 3.3 | MPLS (Multi Protocol Label Switching)..... | - 21 - |
| 4. | Irodalomjegyzék..... | - 24 - |

1. Minőségi követelmények a hordozóhálózattal szemben

Egyre inkább szükség van arra, hogy megfelelő minőségi paraméterekkel lehessen az IP alapú hálózatokat használni. Az új multimédiás alkalmazások - VoIP (*Voice over Internet Protocol, IP fölötti hangátvitel*), video konferencia, VoD (*Video-on-Demand, igény szerinti videózás*) – speciális minőségű adatátvitelt igényelnek [3]. Az FTP¹, *peer-to-peer*², WWW³, stb. alkalmazások gyorsasága sem elhanyagolható szempont. A felhasználók jó minőségű és nem utolsó sorban megbízható hálózatot szeretnének az alkalmazásaikhoz. Megoldandó probléma volt, hogy a *valós idejű (real-time)*, nagy adatfolyamot igénylő alkalmazások ne foglalják le a hálózatot. Az igények kielégítésére jött létre a QoS (*Quality of Service, szolgáltatás minősége*) szolgáltatás. A *szolgáltatás minősége* egy olyan beállítás, amely meghatározza egy adott felhasználó vagy alkalmazás által használható *sávszélesség* milyenségét, nagyságát és minőségét. A szolgáltatást jellemzi. Nemcsak a maximalizálást, hanem a minimum értékeket is garantálja. Együttműködik a hálózati *útválasztókkal (switch, router)*. Az *OSI modell* szerinti *hálózati rétegben* működik, és a felsőbb szintű protokollokat is képes kezelni. A QoS mellett, hogy az internetes átvitel minőségének jellemzőit jelenti, egyben egy módszer is. Olyan módszer, amellyel biztosítani tudják a hálózati forgalom kiválasztott részének kedvezményezett kezelését, miközben megpróbálják a QoS-re jellemző mértékeket javítani. Az alkalmazás a következő módokon tudja igénybe venni a QoS szolgáltatást [1]:

- a hálózat QoS szempontú méretezésével,
- a *fizikai rétegben* nyújtható megkülönböztetett szolgáltatással,
- a *hálózati rétegben* megvalósítható QoS útválasztással,
- a *szállítási* vagy annál felsőbb *rétegben* működő különböző megbízhatóságot jelentő eljárásokkal,
- az *IntServ, DiffServ (szállítási réteg)*, valamint az *MPLS (adatkapcsolati réteg)* szolgáltatásokkal.

Az adatátviteli hiba a mai átviteli rendszerek minőségének köszönhetően annyira jelentéktelen lett, hogy elhanyagolhatóvá vált. A QoS ezért nem is az adatátviteli hibákat hivatott kivédeni, hanem azokat a minőséget befolyásoló tényezőket, amelyekről a

¹ FTP = *File Transfer Protocol, fájl (állomány) átviteli protokoll*: állományok átvitelére szolgáló szabvány.

² *Peer-to-peer (P2P)*: végponttól végpontig terjedő közvetlen kapcsolat hálózati szerver nélkül.

³ WWW = *World Wide Web* : világméretű hálózat.

későbbiekben még szót ejtek. Az *Interneten* a QoS a következő hálózatra jellemző paraméterekkel fejezhető ki [1]:

A) Csomagvesztési arány (*Packet Loss Ratio*)

A *csomagvesztési arány* az elveszett - és az átvitt csomagok aránya. Több oka is lehet a csomagvesztésnek. Például hálózati torlódás miatt, vagy nem megbízható hálózati átviteli utak miatt. Csomagvesztésnek számít az is, ha egy csomagot túl későn továbbít a hálózat, amikor az már érvényét veszti. Ezt az időszerütlenné válást *elévülésnek* hívják.

A csomag újraküldésével ki lehet küszöbölni a csomagvesztést, de a *valós időben* lezajló kommunikációt (hang, videó, közvetlen üzenetküldés) továbbító közeg esetén nem célszerű, mert megnöveli a végpontközi *késleltetést*.

B) Átviteli késleltetés (*Transit Delay*) vagy **végpontközi késleltetés** (*End-to-End Delay*)

Az *átviteli késleltetés* a csomag elküldésétől a címzett gépre való megérkezéséig eltelt idő. A küldő géptől a címzett gépig és visszafele irányban (címzettől a feladóig) is szokták mérni. A már említett interaktív *valós idejű* alkalmazásoknál (VoIP, *video konferencia*, VoD, stb.) fellépő *átviteli késleltetés* 150 ms alatt nem észrevehető, a fölött már igen, de a 400 ms-os felső határértéken túlhaladva már nem elfogadható.

C) Összeköttetés kialakítási késleltetés (*Connection Establishment Delay*)

Az *összeköttetés kialakítási késleltetés* azt az időt jelenti, ami a szállítási összeköttetésre irányuló kéréstől annak a visszaigazolásáig eltelik. Ebben a késleltetési időben benne van a távoli szállítási entitás adatfeldolgozási késleltetése is.

D) Összeköttetés kialakítási hibavalószínűség (*Connection Establishment Failure Probability*)

Dr. Hosszú Gábor definíciója *Az internetes kommunikáció informatikai alapjai* című könyve alapján így hangzik: „Az összeköttetés kialakítási hibavalószínűség annak a valószínűsége, hogy egy maximális összeköttetés kialakítási idő alatt sem alakul ki az összeköttetés, pl. hálózati torlódás miatt.”.

E) Remegés (*Jitter*) vagy késleltetési remegés (*Delay Jitter*)

A *remegés* az a jelenség, amely a két végpont közötti *átviteli késleltetés* rövididejű ingadozását jelenti. Ez a rövid idő 100 ms alatt van. A *remegés* az átviteli minőséget rontja. Okozhatja például a hálózati terhelés ingadozása. A nagymértékű *remegés* súlyos minőségi hibának számít az olyan alkalmazásokban, ahol az adatfolyam időfüggő (mozgókép-, hang jel, élő közvetítés). Ilyenkor a jel torzulni fog.

LG: Ezt én nem remegésnek, hanem *késleltetés-ingadozásnak* nevezem!

F) Sávszélesség (*Bandwidth*)

A *sávszélesség* az a legnagyobb adatáviteli sebesség, amit a két végpont között fenn lehet tartani. Mértékegysége a *bit/secundum*, azaz az egy másodperc alatt átvitt bitek száma. Az *Internet szolgáltatók* Mbit/s-os nagyságrendű csomagokat kínálnak az ügyfeleiknek. A *sávszélességet* több tényező is korlátozza: fizikailag az átviteli hálózat háttérszerkezete, az adatfolyam szempontjából pedig a végponttól végpontig tartó út közös összetevőin osztozó egyéb forgalmak. A *sávszélesség* mennyiségi és nem minőségi paraméter. Felhasználói szempontból ez a paraméter manapság a legfontosabb.

LG: A sávszélesség MÁST JELENT! (Lásd: 1. előadás) Pongyola szóhasználattal valóban használják az átviteli sebesség szinonimájaként is, de használjuk inkább az *átviteli sebesség* kifejezést!

G) Átbocsátás (*Throughput*)

Az *átbocsátás* az időegység alatt átküldött adatok száma. Hasonlóan az *átviteli késleltetés*hez, ezt is oda-vissza irányban külön-külön mérik.

LG: Ez nagyon zavaros! Milyen adatok száma? Például csomópontoknál (router, switch) értelmes az időegység alatt átvitt csomagok számát, vonalaknál az időegység alatt átvitt bitek számát tekinteni...

H) Elsőbbség (*Priority*)

Az *elsőbbség* olyan szolgáltatás, amellyel az adatok átvivője eldöntheti, hogy mely összeköttetéseket részesíti előnyben a többihez képest. Ha például torlódás lép fel, a

fontosabb kapcsolatokat előbbre sorolja.

I) Védelem (*Protection*)

Amikor *védelem*ről beszélünk, három kérdést kell feltennünk: *mit*, *mitől*, és *hogyan*? A biztonság témakörét ecsetelve ki fogok erre térni, viszont most a *védelem* alatt az átvitel során harmadik személy általi olvasás vagy módosítás elleni védelmet értjük.

J) Rugalmasság (*Resilience*)

A *rugalmasság* annak a valószínűségét adja meg, hogy egy átviteli protokoll önállóan minden olyan kapcsolatot befejez, ami torlódás miatt válik használhatatlanná.

LG: Például egy *resilient link* azt jelenti, hogy meghibásodás esetén valamilyen módon újra működővé válik, tipikusan tartalékra való átkapcsolással.

K) Lejátszási késleltetés (*Playout Delay*)

A *lejátszási késleltetés* azt jelenti, hogy a vevőnél a lejátszás előtt átmenetileg tárolódik az adatfolyam.

L) Maradékhiba arány (*Residual Error Ratio*)

„A *maradékhiba arány* az átviteli rendszer tulajdonsága, amelyet egy közlési viszony (egy közlési médium) átlagos hibaarányának lehet tekinteni.” (Dr. Hosszú Gábor: *Az internetes kommunikáció informatikai alapjai*) Értéke elvileg nulla, ugyanis az *adatkapcsolati réteg* feladata az, hogy elfedje a hálózati hibákat. A valóságban egy nullánál kicsivel nagyobb számról van szó.

LG: Nyilvánvalóan azoknak a fennmaradó hibáknak az arányáról van szó, amit az adott átvitel hibajavító kódolása nem volt képes kijavítani. Ez természetesen nem feltétlenül nulla!

M) Rendelkezésre állás (*Service Availability*)

Ismét egy *rendelkezésre állás*ról van szó, de most nem a szolgáltatás, hanem a rendszer *rendelkezésre állás*áról. A rendszer *rendelkezésre állása* azt mutatja meg, hogy a rendszer

menyire ellenálló a meghibásodásokkal szemben.

LG: NEM! Eleve az angol szó nem a rendszerre, hanem a szolgáltatásra utal. Ráadásul a rendelkezésre állást a javítás (tartalékra való átkapcsolás) sebessége is befolyásolja!

LG: Bár a következők már a megvalósításról szólnak, meghagytam őket, hogy a hallgatók találkozzanak a Gold, Silver, Bronze elnevezésekkel...

Az *Intelligens Hálózat* méretezésének technikai előírásai [4]:

- I.) A különböző alkalmazások *csomagvesztés, késleltetés és jitter* jellemzői eltérőek, ezért a *sávszélesség* növelése kevés a QoS-hez.
- II.) QoS jellemzők alkalmazás szerinti figyelembe vétele elengedhetetlen.
- III.) Az alkalmazásokat 4 profilba szokták sorolni.
- IV.) Videókonferencia számára szükséges minimum *sávszélesség* a névleges *sávszélesség* 120%-a.

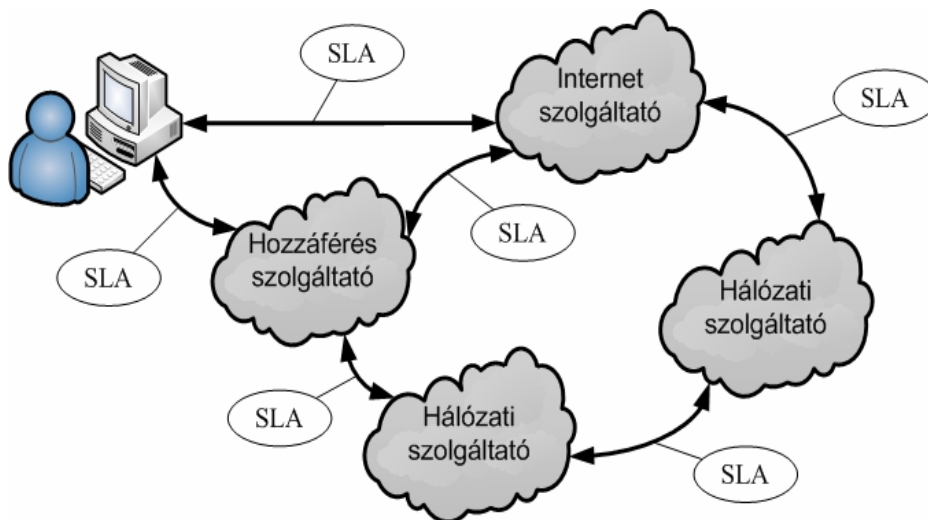
| Profil | Megnevezés | Példa alkalmazás |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Gold | Kritikus | Tranzakciók, szoftver |
| Silver | Garantált sávszélesség | Streaming videó, üzenetek, intranet |
| Bronze | "Best effort" és alapszint | Böngészés, e-mail |
| < Best-Effort | Opcionális, könnyen eldobható | FTP, backup |

LG: Átvéve: http://www.inf.unideb.hu/kutatas/gybin/gybin09/Gal_Zoltan.ppt (8. fólia)

Az IP QoS-re egyre nagyobb szükség van. Gondoljunk csak arra, hogy az alsó szinteken történő *késleltetés* felsőbb szinteken nem javítható. Az *Internet* felhasználási lehetőségeihez és az alkalmazások kielégítő futtatásához már nem voltak elegendők az eddig megszokott minőségi mutatók. Ezt az IETF (*Internet Engineering Task Force*) is felismerte, és kétféle megoldással foglalkozott. Az egyik az *IntServ*, a másik a *DiffServ*. Az IETF-en kívül is született egy alternatíva, a későbbiekben tárgyalt *MPLS*. A felépült IP folyamatok *valósídejű* átvitelének biztosítására ez a három megoldás terjedt el. Mindegyiknek megvannak az előnyei és a hátrányai. Az egyes megoldások nem zárják ki egymást, együtt is alkalmazhatóak. A 3. fejezetben ezekkel foglalkozunk.

2. Service Level Agreement

A *DiffServ* hálózatokban (3.2. alfejezet) utalunk rá, hogy a forgalom osztályozása megállapodások figyelembevételével történik. A *router*ek csak azt a forgalmat tudják/próbálják lebonyolítani, amelyre a felhasználó és a szolgáltató szerződést kötött. Az egyes *DS tartományok* közötti együttműködéshez is le kell fektetni bizonyos feltételeket, melyeknek tartalmazniuk kell a minőségi követelményeket, azaz a QoS paramétereit. Erre szolgál a *szolgáltatási szint megállapodás (SLA, Service Level Agreement)*, ami nem más, mint egy szerződés az ügyfél és a szolgáltató között, amelyben a garantált minőséget konkrét, számszerű értékekkel és mértékegységekkel adják meg. Az **1. ábra** szemlélteti a hálózatok közötti kapcsolatok egyezményeit.



1. ábra A felhasználó és a hálózatok közötti viszony az SLA szempontjából

Az ábrán jól látható, hogy SLA nem csak az ügyfél és a szolgáltató, hanem a hálózatok között is fontos szerepet játszik. A *szolgáltatási szint megállapodás* tulajdonképpen nem a szerződő felek hagyományos üzleti, hivatalos szerződése, hanem annak csak egy melléklete. Nagy különbség van a felhasználó-szolgáltató közötti SLA és a hálózati SLA QoS követelményei között [10]. Értelemszerűen más igényeknek kell eleget tenni, nem csoda, hogy nagyságrendileg eltérő minőségi jellemzőket határoznak meg. A *szolgáltatásminőség* az SLA értelmezésében az egy adott szolgáltatásra vonatkozó, a felhasználó igényeit kielégítő minőségi paraméterek mérőszáma. Itt a hangsúly a mérőszámra tevődik.

Mivel mérhető paraméterekről van szó, a QoS-t kétféleképpen lehet értékelni:

1. Szubjektív módon (pl.: *real-time* alkalmazásnál a kép vagy a hang zajos, halk, nem tiszta);
2. Objektív módon (pl.: *késleltetés* mértéke, *csomagvesztési arány*).

Az SLA céljai között csak egy volt a felek közti szolgáltatás minőségének rögzítése, kiter még többek között a *prioritásokra*, a szabályokra és a felelőségekre is. Tartalmaznia kell a QoS mérési eljárás definícióját, a mérések gyakoriságát és az ezekből készített jelentéseket is. Mindkét fél közös kívánalmainak eleget tesz. Az ügyfélnek meg kell tudnia belőle, hogy az egyéni felhasználókra milyen hatással van, illetve, hogy az egy adott periódusra eső *összegezt (aggregált)* minőség hogyan alakul. A dokumentum elsődleges feladata a szolgáltatás műszaki *teljesítményében (performance)* való megállapodás. Az SLA-ban rögzített paramétereknek három kategóriáját tudjuk megkülönböztetni [10]:

- a. Technológia-specifikusak (kevés esetben);
- b. Szolgáltatás-specifikusak;
- c. Technológia/szolgáltatás függetlenek (üzemeltetés *hatékonysági /performance/* követelmény).

Azok a paraméterek, melyek *technológia-specifikusak*, rendelkeznek azzal a tulajdonsággal, hogy a szerződésben szereplő mérőszámokat csak úgy tudja a szolgáltató garantálni, ha kizárólag azzal a technológiával valósítja meg a kommunikációt, amelyre a megállapodás vonatkozik. A mai modern hálózatok többnyire képesek ugyanazon a fizikai összeköttetésen többféle kommunikációs lehetőséget nyújtani. Gondoljunk például a széles körben elterjedt ADSL-re, ahol ugyanazon a csavart érpáron tudunk telefonálni és egy *modem* (ami átalakította a telefonvonalon érkező jeleket digitális, a számítógépes kommunikáció számára értelmezhető jelekké) segítségével lehetőségünk nyílt az *Internetet* használni. Régebben gyakran előfordult az, hogy a szolgáltatók bizonyos kivitelezhetőségi körülmények között csak telefonvonalon keresztül tudták megoldani az *Internet* bevezetését az előfizetőhöz. Ma is lehetnek olyan fizikai (betonburkolat, beépített akadály) korlátok, ahol például a kommunikációt nem tudják kábel segítségével megvalósítani, így erre jó megoldás lehet a WLAN (*Wireless Local Area Network, vezeték nélküli helyi hálózat*). Léteznek jogi korlátok (engedély hiánya, magánterület...) is.

A *szolgáltatás-specifikus paramétereket* néhány konkrét példán keresztül mutatjuk be. Sok már ismerős lehet az 1. fejezetből. Először vegyük az **adat** paramétereit, csak felsorolás

szintjén:

- BER (*Bit Error Ratio, bithiba arány [%]*);
- SA (*Service Availability, rendelkezésre állás*);
- PDU (*Protocol Data Unit, protokoll adategység*) hibák és veszteségek;
- EFS (*Error Free Seconds, hibamentes másodpercek*);
- UAS (*Unavailable Seconds, hozzáférhetetlen másodpercek*);
- *Delay (késleltetés)*;
- stb.

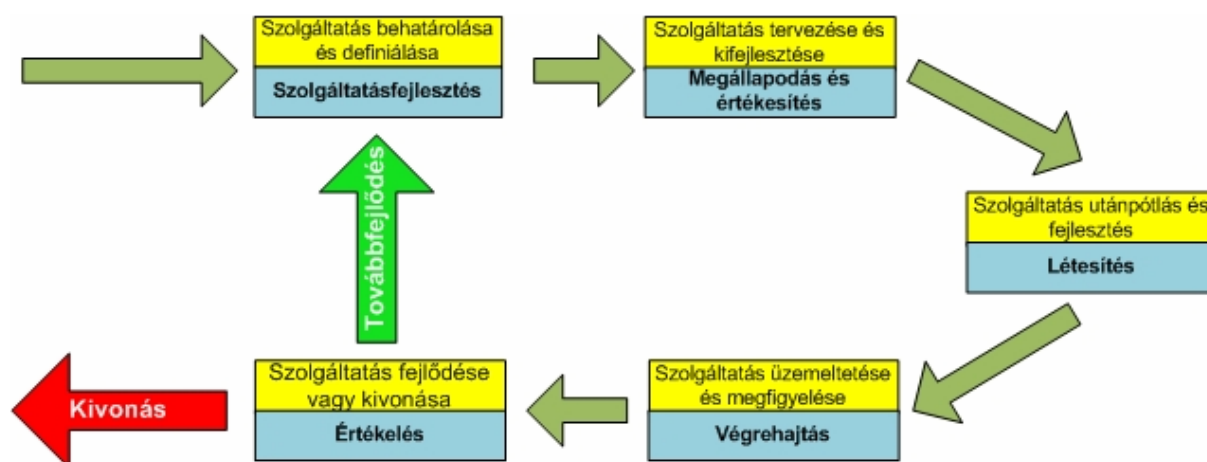
Maradva az IP kommunikációnál, ma már ki sem lehet hagyni az *Internet Protokoll feletti hangátvitelt (VoIP, Voice over Internet Protocol)*. Költséghatékonysága és megvalósíthatósága miatt szeretik az üzleti életben ezt a megoldást alkalmazni az egy épületen, szervezeten belül a hagyományos telefonrendszer helyett. A telefon végberendezést sok munkahelyen leváltotta a számítógép, ugyanis számos szoftver lehetővé tette (*Skype, 3CX...*) a számítógép hangeszközeivel történő *valósídejű* hangátvitelt. A VoIP-nál a *késleltetés* és a *visszhang* az a két paraméter, amelyet az SLA-ban rögzíteni szoktak.

Láthattuk, hogy a *rendelkezésre állás (Service Availability)* több szolgáltatásnál is fontos QoS paraméter. Százalékban adja meg, hogy a szerződésben lefektetett szolgáltatás üzemel-e (az SLA-ban leírtak szerint az ügyfélnek van-e lehetősége használni a szolgáltatást) a *szolgáltatás elérési ponton (SAP, Service Access Point)*. Ha a SAP-on egy olyan esemény történik, amely hatással van a szolgáltatásra, annak *szolgáltatás-kiesés* lesz a következménye [10]. Az az idő, amely a szolgáltatás kiesése alatt eltelik, a *kiesési idő*. Most, hogy már a *kiesési idő* definícióját is ismertettük, a *szolgáltatás rendelkezésreállási százalék (SA%)* és a *szolgáltatás használhatatlansági százalék (UA%, unavailability)* számítása könnyen értelmezhető: $SA\% = 100\% - UA\%$, ahol $UA\% = (\text{összes kiesési idő} / \text{aktív idő}) \times 100\%$. A *rendelkezésre állás* időben, helyszínben és funkcióban értelmezhető.

Az SLA paraméterek harmadik kategóriája a *technológia/szolgáltatás független paraméterek* csoportja. Ezek azok, amelyeket szinte mindig meghatároznak a *szolgáltatási szint megállapodásban*. Ilyen paraméter például az SA%, az MTBF (*Mean Time Between Failures, meghibásodások között eltelt átlagos idő*), az MTTR (*Mean Time To Repair, átlagos javítási idő*), vagy a *válaszidő (Response Time, egy esemény bekövetkezése és a rendszer erre adott válasza között eltelt idő)*.

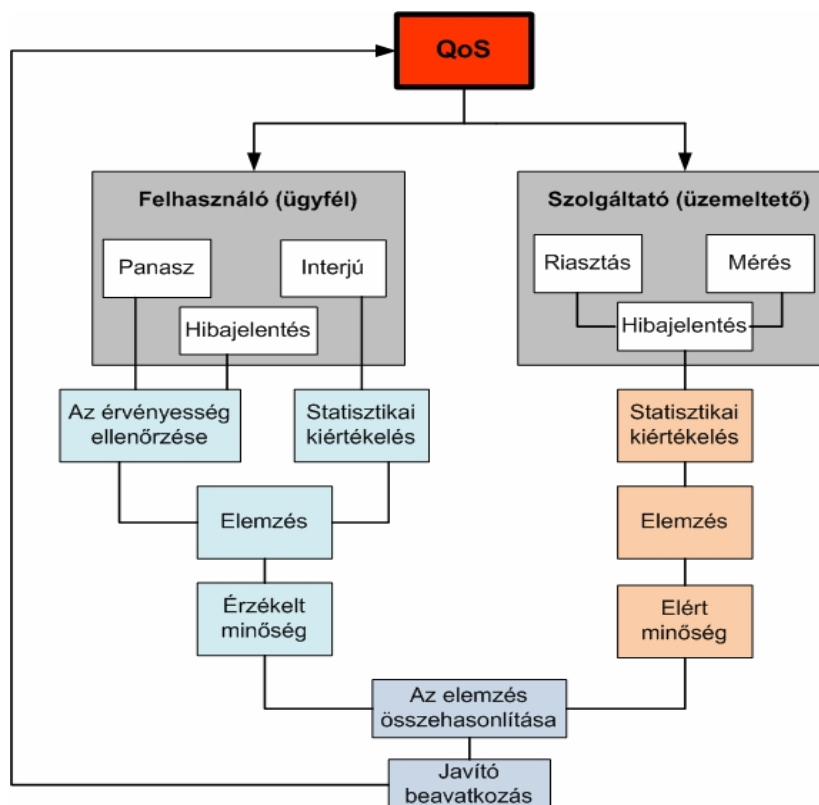
Általánosságban még az is elmondható, hogy a szolgáltatás és a hozzá tartozó SLA öt

életciklus szakaszt rejt magában. A **2. ábrán** láthatjuk a szakaszokat és a funkciókat. A *szolgáltatásmenedzsment* életciklusát a szolgáltatás/ok bevezetése, módosítása és visszavonása irányítja. Tartalmazza a szolgáltatások kiválasztásához és konfigurálásához



2. ábra A szolgáltatásmenedzsment és az SLA életciklusai

szükséges politikát, szabályokat, folyamatokat és adatsablonokat, melyeket az ügyfélkezelő folyamat használ [10]. Egy SLA mérés soha nem lehet 100%-os pontosságú, csak megközelíti azt. A **3. ábra** a QoS mérés lépéseit mutatja meg.



3. ábra A QoS mérése

3. Szolgáltatás-minőség biztosításának módszerei IP alapú távközlő hálózatokban

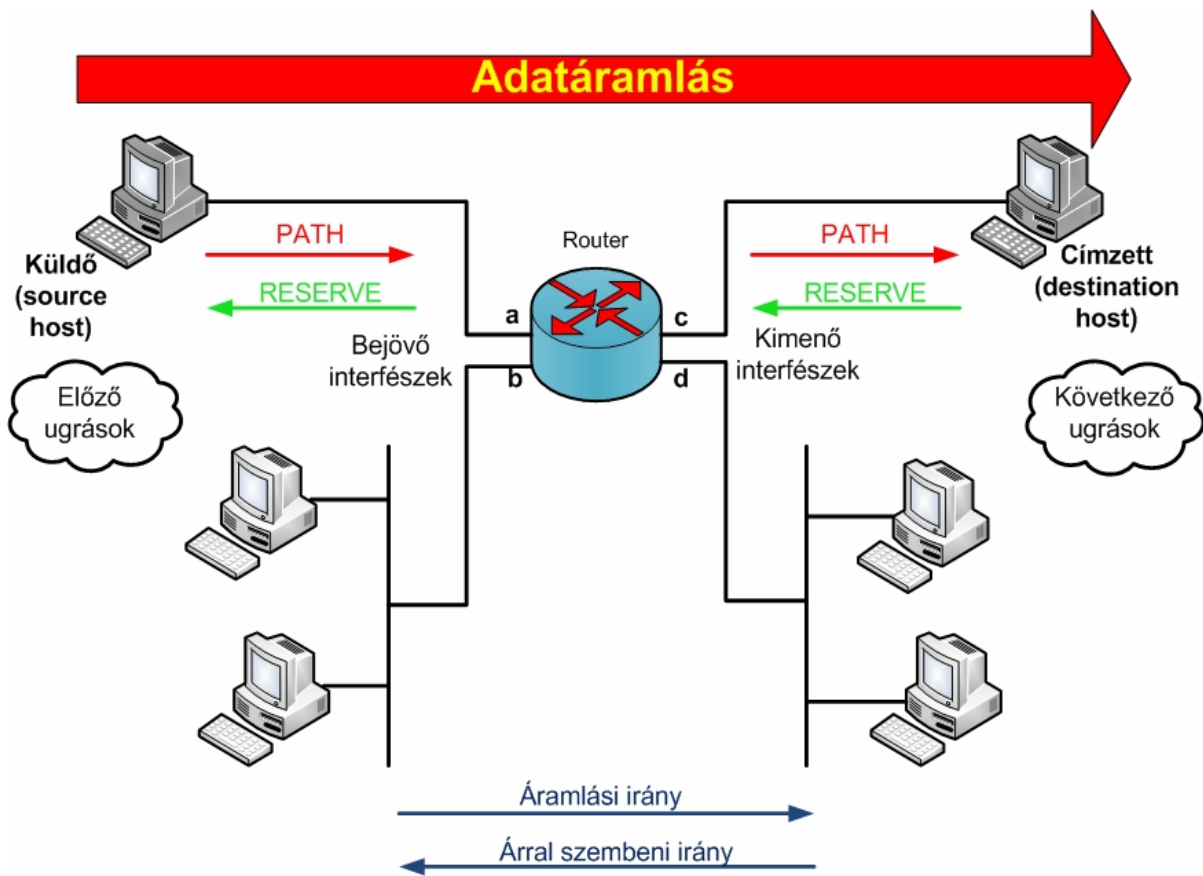
3.1 IntServ (Integrated Services)

Az adatforgalmat és a minőségorientált alkalmazások használhatóságát vizsgáló szakemberek már régen felismerték, hogy a *valós idejű* forgalmat az adatforgalomtól el kell különíteni a minőségi követelmények teljesítése érdekében. Az *IntServ (Integrated Services)* segítségével az alkalmazás igénybe tudja venni a QoS szolgáltatást. Az *IntServ* az *útválasztók* QoS lehetőségeiről szól. Területe a hozzáférési hálózat. Az *IntServ*-nek három fő feladata van [7]:

1. *Admission Control (Befogadás-engedélyezés)*
2. *Resource Reservation (Erőforrás-lefoglalás)*
3. *Traffic Control (Forgalomszabályozás, forgalomvezérlés)*

A *befogadás-engedélyezés* feladata meghatározni a csomópontban fellépő erőforrás-igények kielégíthetőségét. Ez azt jelenti, hogy a *router*ben új erőforrás-igény fellépése esetén biztosítható-e az adott hálózat forgalomminőségének (QoS) garantálása. Ez minden *útválasztó*ban függetlenül történik. Az *erőforrás-lefoglalás* feladata kijelölni az útvonalat a hálózatban a forrástól a célig és emellett a QoS paramétereket (beleértve a *sávszélességet*) is szállítja a hálózat elemei között. Az erőforrások lefoglalására az RSVP (*Resource ReSerVation Protocol, erőforrás lefoglalási protokoll, RFC 2205*) protokollt használják, de ezen a funkción kívül alkalmas még *útválasztásra* vagy *adatátvitelre* is. Az RSVP-nek bizonyos időközönként frissítenie kell az állapot információkat, különben érvénytelenné válnak. Valójában ez a mechanizmus írja le az RSVP által használt ún. *soft állapotkezelést*. A *befogadás-engedélyezés* és az *erőforrás-lefoglalás* egyszerre történik. A *forgalomszabályozás* arra szolgál, hogy a lefoglalt minőségi paramétereket kikényszerítse. A hálózatközi *integrált szolgáltatásokhoz* az RSVP biztosít hozzáférést. Az *forrás* és *cél* végberendezés közötti útvonalon minden hálózati elemnek (*szerver, router...*) támogatnia kell az RSVP-t, hogy le tudják foglalni a *sávszélességet*, a *CPU időt* és a *puffert*. Ha nincs meg a kellő támogatás, a kapcsolat nem épülhet fel, és hibajelzés keletkezik.

Az RSVP protokoll a *szállítási réteg*hez tartozik, de az *OSI modell* szerinti *viszonyos réteg* szolgáltatásait is képes nyújtani. Az erőforrások lefoglalásához a *forrásnak* (*source host*) kezdeményeznie kell az eljárást (4. ábra).



4. ábra Az RSVP protokoll

Ezt egy *Path message* (útvonali üzenet) segítségével teszi meg, amely kijelöli az RSVP üzenetek és az adatsomagok útját. A *Path message* nem foglal le erőforrást, viszont az előbb említett funkciói mellett meg kell említenem azt, hogy a *forrás forgalomleírót* (*flow descriptor*) is ez szállítja. A kijelölt hálózati útvonal hibája esetén fontos, hogy más alternatív útvonalon fenn tudjuk tartani a kapcsolatot. Ennek feltétele, hogy az RSVP üzenetek az adatfolyam alatt is rendszeresen küldve legyenek, mert ez szükség szerint lehetővé teszi az útvonal megváltoztatását a kapcsolat alatt. A szükséges erőforrások lefoglalásáról a *cél állomás* (*destination host*) gondoskodik a *forrástól* kapott *forgalomleírók* és a saját képességei ismeretében, majd visszaküld egy *ResV* (*Reservation message, foglalási*) üzenetet, amely hordozza a hálózattól kért *QoS* és *sávszélesség* igényeket. Minden *útválasztó* maga dönt arról, hogy befogadja, vagy elutasítja a kérést.

Elutasításról akkor beszélünk, amikor a befogadás sikertelen. Ilyenkor a *router* egy *ResvErr* (*Reservation Error, foglalási hiba*) üzenettel válaszol. Ha befogadja, akkor az információkat feljegyzi és a forgalom vezérlésénél használja. Ezeket az információkat *áramláselőírásoknak* (*flowspec – Flow Specification*) nevezzük:

- *TSpec – Traffic Specification, forgalmi előírás (forgalomleíró)*

Az igényelt *sávszélességet* adja meg és a *forgalom áramlását* írja le a következő paraméterekkel:

- *csúcsebesség* (*p - peak rate [bájt/s]*);
- *fenntartott sebesség* (*r - sustained rate [bájt/s]*);
- *minimum rendszabályozott adategység* (*m - minimum policed unit [bájt]*);
- *maximum adatcsomag méret* (*M - maximum datagram size [bájt]*);
- *maximum löketméret* (*B – maximum burst size [bájt]*);
- *átlagos bitsebesség*.

- *RSpec – Reservation Specification, lefoglalási előírás*

A kért QoS értékeket adja meg:

- *sebesség* (*R – rate [bit/s]*);
- *késleltetés-lassulás* (*S - delay slack [ms]*).

- *Filterspec – Filter Specification (szűrőelőírások) – LG*: Ez nem része a flowspec-nek!

Beletartozik a *forrás* és a *cél* IP címe és portszáma, amelyek alapján az *útválasztó* meg tudja állapítani, hogy az adatcsomag rendelkezik-e már lefoglalással, és ha a lefoglalást felismerte, akkor egy *belső QoS azonosítót* rendel a folyamhoz.

- *Service Class (szolgáltatási osztály)*

Az internetes forgalom leírására az *IntServ* (és az *RSVP*) három szolgáltatási osztályt határoz meg, amelyek közül az első kettővel a következő alfejezetekben részletesen foglalkozunk, a harmadikat pedig már jól ismerjük:

- *Guaranteed Service*
- *Controlled Load Service*
- *Best Effort Service*

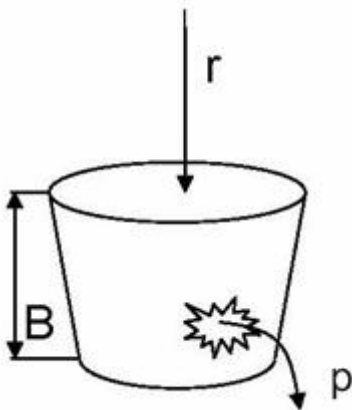
Az *integrált szolgáltatások* hátrányai [7]:

- minden egyes csomagnál külön meg kell vizsgálni annak státuszát, hogy van-e *prioritása*;
- *processzorigény*;

- memóriaigény;
- szoftverigény;
- a nagy processzor-, memória- és szoftverigény miatt költségesebb, mint a *DiffServ* szolgáltatás;
- a *késleltetés* a minőség rovására mehet;
- a foglalás megújítása is generál forgalmat;
- kevés szolgáltatási modellt ismer (*Guaranteed Service, Controlled Load Service, Best Effort Service*).

3.1.1 Controlled Load Service

Az ellenőrzött terhelésű szolgálatnak sok neve van. Ha *szabályozott terhelésnek* nevezik, illetve puha vagy minőségi QoS-ként említik meg, akkor is ugyanarról a *Controlled Load Service* szolgáltatási osztályról van szó.



5. ábra *Token Bucket* –
vezérjeles (lyukas) vödör modell

Működését tekintve legegyszerűbben lehet jellemezni, hogy bizonyos csomagoknak *elsőbbiséget* ad az áramlásban, ezzel minőségi szolgáltatást tud nyújtani. Biztosítja, hogy az *elsőbbiséget* élvező csomagok minimális várakozási idő elteltével sorra kerüljenek az *útválasztó sorokban*, így viszonylag gyorsabban át tudnak haladni a hálózaton. A *csomagkésleltetési idő* és a *csomagvesztés* kicsi, viszont a kiválasztott csomagok szempontjából a *Controlled Load Service* ugyanolyan, mint a *Best Effort*. Erős forgalom esetén, ahol több nagyobb *elsőbbiséget* élvező csomag is sorban áll és

a kisebb *prioritású* csomagok elenyészően kevesen lettek (mert már „fel lettek áldozva”), még a nagy *elsőbbiséget* élvező csomagok is elveszhetnek. Az IETF-nek az volt a célja ezzel a szolgáltatási osztállyal, hogy olyan teljesítményű szolgáltatást nyújtson, mintha terheletlen hálózaton tenné ugyanezt [8]. A minőségre nem ad semmilyen garanciát. Az az alkalmazás, amely a *Controlled Load Service* szolgáltatást kívánja igénybe venni, biztos lehet abban, hogy az átviendő csomagok nagy valószínűséggel sikeresen megérkeznek, illetve a *késleltetés* mértéke nem haladja meg azt az értéket, amelyet egy sikeresen átkerkezett csomagnak el kellett szenvednie. Szabó Róbert összegzése szerint: „*Virtuálisan veszteségmentes és késleltetés ingadozás szempontjából pedig terheletlen hálózatnak*

megfelelő kiszolgáltatást kap ezen szolgáltatás.”⁴ Működésének biztosításához szükség van a már tárgyalt *befogadás-engedélyezésre (Admission Control)*. *Forgalomleíróként ún. Token Bucket (vezérjeles vödör) forgalomleírókat* használ. Az **5. ábrán** látható *lyukas vödör* szemlélteti a *forgalomvezérlést*. A vödörbe a vezérjelek állandó r sebességgel (*sustained rate*) érkeznek a B (*burst, maximális löket méret*) „mélységű” vödörbe, melyből a lyukon keresztül p (*peak rate*) csúcsebességgel távoznak. A torlódások legfőbb oka a lökészerű adatforgalom. A gépek nem egyenletesen küldik a csomagjaikat, hanem kiszámíthatatlan pillanatokban halmozzák fel csomagokkal az alhálózatot. A *Token Bucket* arra ad megoldást, hogy a jelképes lyukas vödörbe egyenlőtlen r sebességgel érkező *vezérjelek (token)* a vödör alján lévő lyukból a „befolyási” sebességtől függetlenül, egyenletes p sebességgel hagyják el a vödröt [9]. Ha a vödör megtelik, a „kicsorduló” *vezérjelek* eldobásra kerülnek (vagy a csomagok alacsonyabb *prioritást* kapnak). Ugyanúgy történik, mintha *vezérjelek* helyett vízzel tennénk ugyanezt. Ha a gép kivesz egy *vezérjelet* a vödörből, csak akkor továbbíthat csomagot. Ha a vödör kiürül, új *vezérjel* keletkezéséig kell várnia, addig nem tud csomagot küldeni. A *Token Bucket* a lökészerű adatforgalom ellen véd. Gyakorlati jelentősége a *forgalmunk újrafarmázásában (traffic shaping)* és szabályozásában mutatkozik meg.

3.1.2 Guaranteed Service

A *Guaranteed Service (garantált szolgáltatás)* is több ragadványnévvel büszkélkedhet: *garantált, kemény* vagy *mennyiségi QoS*-nek is hívják. A *Controlled Load Service*-hez hasonlóan itt is szükség van a *befogadás-engedélyező folyamatra (Admission Control)* és a *vezérjeles (lyukas) vödör (Token –leaky– Bucket) forgalomleíróra*. Közös még bennük, hogy a *késleltetés* és a *csomagvesztés* szabályozására használják.

A *garantált szolgáltatás* kizárólag csak a *maximális késleltetés* értékét biztosítja. Ezt úgy kell érteni, hogy a szolgáltatási szint nem szabályozza sem a *minimális-*, sem az *ingadozó (jitter) késleltetést*. Az erőforrás lefoglalást végző RSVP protokoll lefoglalja a *sávszélesség* egy adott részét, és addig nem ejt ki egyetlenegy csomagot sem, amíg a forgalom túl nem lépi a lefoglalt *sávszélesség* szabta határokat. Így tudja a *késleltetést* biztosítani a csomagok számára. A teljes körű szolgáltatás megvalósításához a hálózati

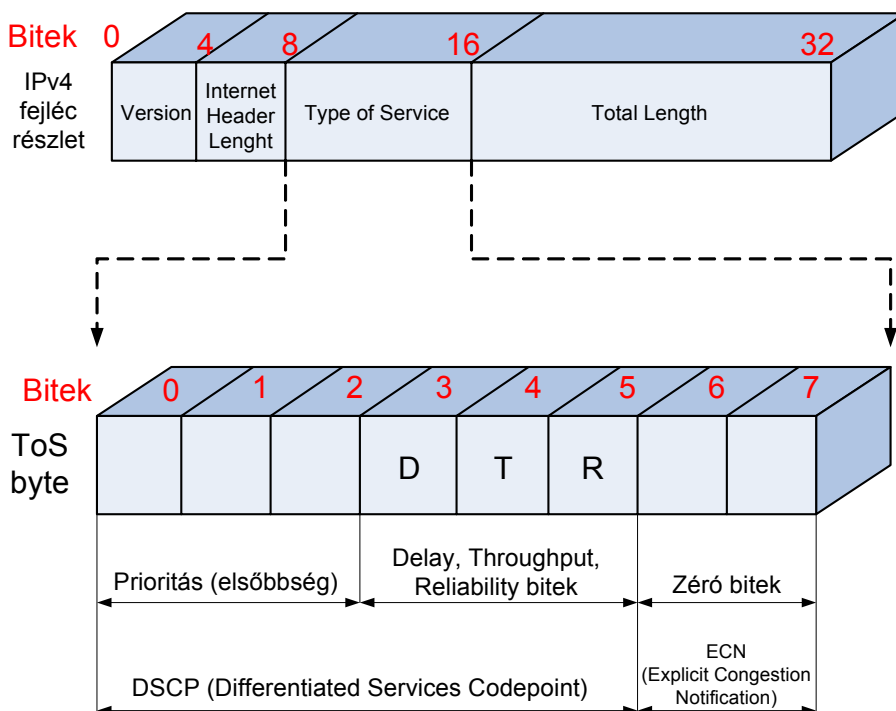
⁴ Szabó Róbert: *Minőségi szolgáltatások IP hálózatokban*, Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület, 2007, <http://www.hte.hu/hte2007/data/upload/File/online/THIS/3.pdf>

forgalomban részt vevő összes elemnek támogatnia kell a szolgáltatást, ellenkező esetben a garancia nem tartható. *Ethernet* hálózatokon nem lehet megvalósítani, de részleges támogatás mellett is minőségjavulást eredményezhet.

3.2 DiffServ (Differentiated Services)

A *DiffServ* (*Differentiated Services, megkülönböztetett szolgáltatások*) az *IntServ* hátrányait hivatott kiküszöbölni. Területe a gerinchálózat. A csomagokat *minőségi osztályokba* sorolja, illetve az éppen feldolgozott csomagok továbbításáról gondoskodik a *minőségi osztályuknak* megfelelően.

Az IPv4 *datagram fejrészében*⁵ található ToS (*Type of Service, szolgáltatás típusa*) (6. ábra) mezőt különösebb minőségi követelmények nélküli kommunikációkban el szokták hanyagolni, de QoS szempontból fontos szerepe van, ugyanis az IP csomagok megkülönböztetése a ToS segítségével történik.



6. ábra Az eredeti és az új felfogás szerinti ToS mező

⁵ A *fejrész* és a *fejléc* is ugyanazt jelenti, amit az angol szakirodalomban *header*-nek neveznek.

A *szolgáltatástípus mező* kódolását a *megkülönböztetett szolgáltatások* újraértelmezték, és ennek eredményeképp hozták létre a *DS tartományokat* (*Differentiated Services Domain*, pl.: LAN, egy szolgáltató gerinchálózata). Eszerint négy *minőségi osztályban* összesen tizenöt különböző kategóriába sorolja a kiszolgálási elveket. Minden kategóriához hozzá van rendelve egy *DS kódpont*. A *DiffServ* újraértelmezése szerint a *szolgáltatástípus* első hat bitje a *DSCP* (*Differentiated Services CodePoint*, *DS kódpont*), az utolsó kettő pedig kihasználatlan marad. Az IETF *ECN* (*Explicit Congestion Notification*, *torlódás bejelentés*) ajánlása arra szolgál, hogy a maradék két bitből az egyik jelölje a forgalmi dugó kialakulását, ez azonban nem fog informálni a torlódás mértékéről és helyéről sem. Egyetlen bit kevés ehhez, de az IPv6⁶-os *fejléccen* belül több bit áll a torlódás leírásának rendelkezésére. A *DiffServ* meghatároz ún. *viselkedési csoportokat* (*BA*, *Behaviour Aggregate*), amelyek a *megkülönböztetett szolgáltatásokat* kezelni tudó *útválasztók* feladatát könnyítik meg, mivel a *BA* az ugyanazzal a *DSCP*-vel rendelkező csomagokat gyűjti össze. Minden *viselkedési csoport* meghatároz egy *ugrásonkénti viselkedésmódot* (*PHB*, *Per Hop Behaviour*). A *PHB* a csomagkezelési módot adja meg a továbbítás során, így vannak csomagok, amelyek *elsőbbiséget* élvezhetnek társaikkal szemben, és hamarabb továbbjutnak az *útválasztókon*.

A minőségi osztályok [8]:

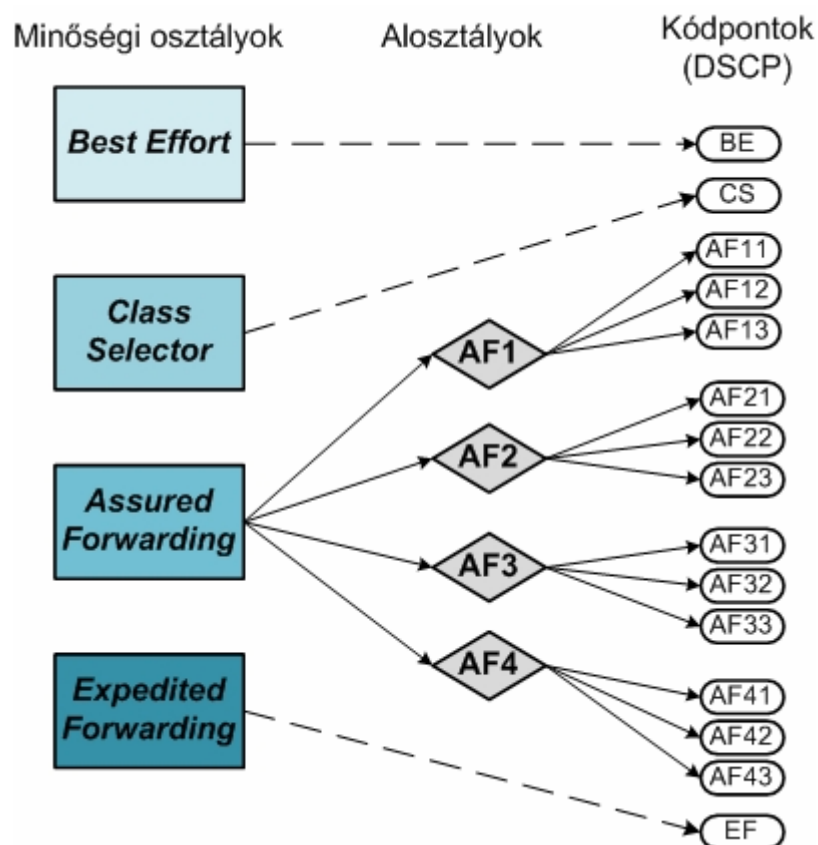
1. *Best Effort PHB* (alapértelmezett)
2. *Class Selector PHB* (csoportválasztó)
3. *Assured Forwarding PHB* (*AF*, Biztosított továbbítás)
4. *Expedited Forwarding PHB* (*EF*, Akadálytalan továbbítás)

Az elsőhöz nem kell különösebb magyarázat. Jelen kell lennie minden *DiffServ* hálózatban. A *kódpontot* 000000 értékre szokták ajánlani abban az esetben is, ha a tartomány számára a *kódpont* nem értelmezhető. A *Class Selector viselkedés* valósítja meg a kompatibilitást az eredeti felfogás szerinti *ToS* hálózatokkal, *DSCP* értéke általában xxx000 szokott lenni. A *kódpontok* a csomagok *pufferelési*, *kiszolgálási* és *csomageldobási* mechanizmusairól adnak információt az *osztályozók* számára. A harmadik csoport az első új *DiffServ* osztály. Két paraméterrel rendelkezik (*AFxy*): az első az elsőbbségi sorrendet, azaz a *prioritást* (x), a második pedig a *csomageldobási sorrendet* (y) határozza meg. Négy alosztályt definiáltak

⁶ Az *Internet Protokoll* 6-os verziója jelenleg is fejlesztéseken esik át, de még idő kell, hogy az IPv4 helyére tudjon lépni. Kifejlesztésének fő okai között a minőségi szolgáltatások magasabb szintű támogatása is szerepel.

az *Assured Forwarding viselkedésmódon* belül. Jelölésük AF1-AF4. A hálózat üzemeltetője mindegyikhez be tudja állítani a *pufferméretet* és a *sávszélességet*, csoportonként más-más értékre állítva azokat. Az alosztályokon belül három-három *csoomageldobási sorrend* található, melyek egymástól teljesen függetlenül teljesítik kötelességüket. Például ha az egyik alosztályban torlódás lép fel, az semmilyen hatással nem lehet a többire. A biztosított továbbítás 4x3, azaz 12 *kódpontot* használ fel (7. ábra). A negyedik, egyben az utolsó minőségi osztály az *akadálytalan továbbítás* osztálya. Nagy (előre definiált) *átviteli sebessége*, *minimális késleltetése*, *alacsony késleltetési ingadozása (jitter, remegés)* alapján a felhasználó azt is hihetné, hogy egy bérelt vonalon keresztül kommunikál. Az *Expedited Forwarding* mennyiségi tekintetben egy virtuális bérelt vonal. Elsőbbséget élvez minden más minőségi osztállyal szemben. *Valós idejű (real-time)* forgalom számára készítették.

LG: Ilyen forgalom legfeljebb a kapacitás 30%-áig engedélyezhető!



7. ábra A DiffServ minőségi osztályai és a kódpontok

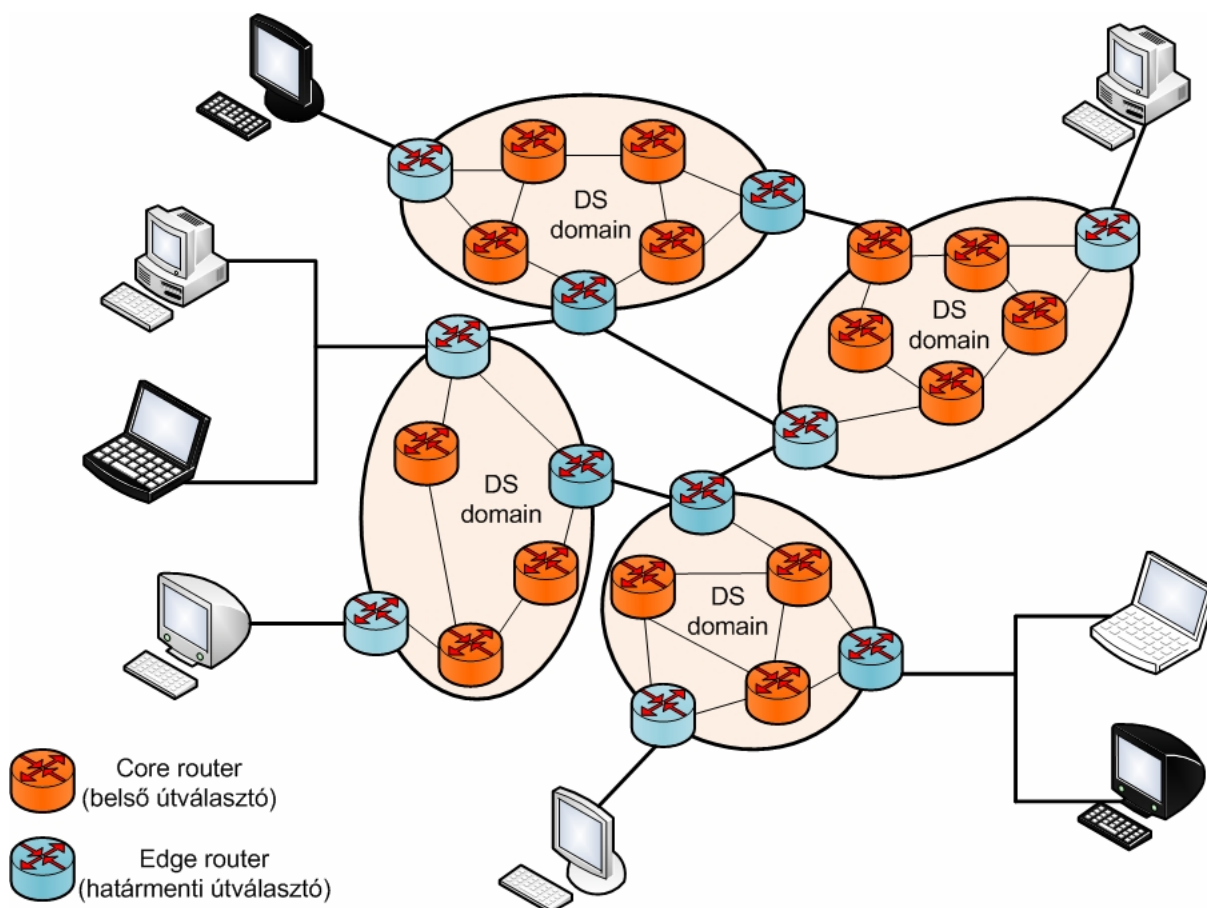
Létezik még egy forgalmi osztály, amely nem minőségi forgalmat bonyolít le. Emiatt a hallgató nem is sorolta az imént tárgyalt négy csoporthoz (hiányzik az ábráról is). Az LBE (*Less than Best Effort, legjobb szándéknál kevesebb*) vagy más néven az LE (*Lower Effort, kisebb erőfeszítés*) forgalom a nevéből adódóan a *Best Effort*-nál kevesebbel is beéri [1].

Jelentősége abban rejlik, hogy csomagjai hamarabb kerülnek eldobásra a magasabb szintű osztályok csomagjaihoz képest (torlódás esetén). Időkorlátok nélküli nagyméretű adatátvitelt biztosít a felhasználó számára (pl.: FTP tükrözés, stb.).

A *DiffServ* architektúrájáról (8. ábra) dióhéjban azt még el kell mondanunk, hogy mivel a gerinchálózatot érinti a szolgáltatás, a hálózati *útválasztók* dolgoznak leginkább. A szolgáltatás architektúrájában kétféle *router* olvassa ki a csomagok *fejléceiben* beállított bitekből a minőségi osztály szerinti továbbítási információkat. Külső és belső csomópontoknak tekintjük őket.

Az *Edge/Border router* (él/határ *útválasztó* vagy *külső csomópont*) a hálózat határain található, *folyamankénti* (*per flow*) forgalommenedzselést végez. Fő feladatai:

- *Befogadás-engedélyezés* (*Admission Control*);
- *Megjelölés* (*marking*): a beérkező csomagokat megjelölése;
- *Rendtartás* (*policing*): a szerződésekben lefektetettek betartatása.



8. ábra A *DiffServ* architektúrája

A felsorolt három funkciót (*Admission Control, marking, policing*) gyűjtőnéven *kondicionálásnak* nevezzük. Egyszerre csak viszonylag kevés adatfolyamot kezel, nem úgy, mint a másik *útválasztó* típus, az *Interior/Core router* (belső/mag útválasztó vagy *belső csomópont*). Ezek a csomópontok nem vesznek részt a *kondicionálásban*, a kapcsolódó jelzésekben és egyéb összetett funkciókban. Osztályonként menedzselik a forgalmat. Sokkal egyszerűbb feladatuk van a *határ útválasztóhoz* képest, ugyanis csak annyit kell tenniük, hogy az *Edge routerek* által a hálózat szélein megjelölt csomagokat kell a *prioritásnak* megfelelő módon továbbítaniuk. A végponttól végpontig működő szolgáltatás feltétele: a *tartományok* együttműködése, mely úgy valósul meg, hogy a szomszédos *tartományok* kötik meg a *szolgáltatási szint megállapodást* (*SLA, Service Level Agreement*). Az együttműködő *DS domain*-ek összességét *DS régió*nak hívják.

A *DiffServ* hálózatok erőforrásainak az igazgatását, menedzselését a *Bandwidth Broker* (*BB, sávszélesség ügynök*) végzi. A *BB* feladata a *befogadás-engedélyezés* (*AC*), az *útválasztók* beállítása, az erőforrások kezelése, a felhasználók *hitelesítése*, illetve a szomszédos *tartományok* közötti erőforrások menedzselése. Általában a *DS domain*-ek között legalább egy *BB* szokott lenni. A szakirodalom a *Policy Management Tool* (*PMT, rendtartás menedzsent eszköz*) elnevezést is használja a *sávszélesség brókerre*.

A megkülönböztetett szolgáltatások talán legfontosabb előnye, hogy akkor is igénybe lehet venni, ha nem minden hálózati eszköz támogatja a *DiffServ*-et. Viszont ebben az esetben a minőség nem garantálható a végpontok között. Legnagyobb hátránya a csoportos *rendtartás* (*policing*), azaz ha egy felhasználó a csoporton belül áthágja a szerződést (*SLA*), akkor a csoport összes tagját megbüntetik.

Összességében elmondható, hogy az *IntServ* és a *DiffServ* együttes alkalmazása a legkielégítőbb hálózati megoldás. Megvalósítani úgy lehet, hogy *DiffServ* hálózat felett alkalmazzuk az *IntServ* technológiát. Az együttes alkalmazás előnye, hogy az eszközök eltérő *IntServ* és *DiffServ* támogatottsága ebben az esetben nem jelenthet gondot, mert ha az egyik módon nem lehet minőségi szolgáltatást nyújtani, akkor a másikon lehet. Bővebben az *RFC2998*-ban olvashatunk erről.

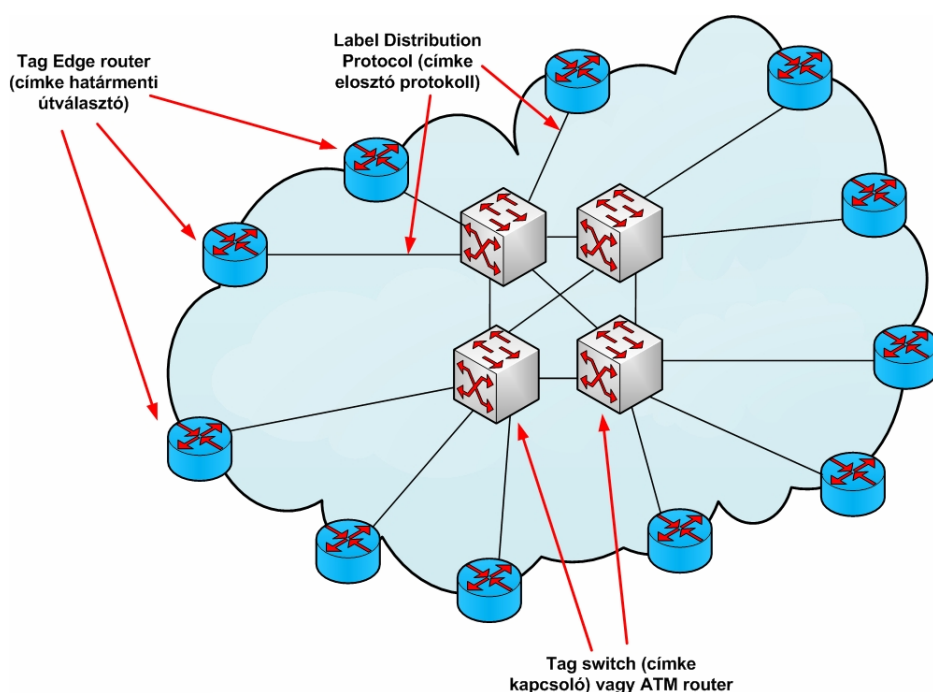
3.3 MPLS (Multi Protocol Label Switching)

Az *MPLS* (*Multi-Protocol Label Switching*) magyarra fordítva *többprotokollos címkekapcsolást* jelent. Az *IntServ* és a *DiffServ* után ez a megoldás is kísérletet tesz az *IP*

hálózaton történő *valósidejű* minőségi szolgáltatások nyújtására, bár VPN szolgáltatáshoz fejlesztették ki.

Az IP útválasztás egyik hátulütője lehet, hogy minden adategység ugyanazt az útvonalat használja, függetlenül attól, hogy létezik-e más útvonal is (pl. RIP esetében). Ennek az *lehet* a következménye, hogy a hálózati *útválasztók* túlterhelődnek, torlódás lép fel az útvonalon. Ha van másik útvonal, az kihasználatlan marad. A másik probléma, hogy a *routing táblák* kitöltését végző protokollok (RIP, OSPF, BGP)⁷ elég bonyolult működésűek. A CIDR (*Classless Inter-Domain Routing*) sokszor a célállomás címének feldolgozása (*routing*) és a számítások miatt jelentős memóriát igényel az *útválasztóktól*. A fellépő terhelést megfelelő *routerekkel* lehet kezelni, de a nagyobb kapacitású eszköz (ha létezik olyan) több pénzbe is kerül, így nem az a legjobb megoldás, ha lecseréljük az eszközöket.

A Cisco cég a problémák megoldásaként kidolgozott egy ún. *tag switching* (*címke kapcsolás*) módszert (9. ábra), amelyből később kifejlődött az MPLS protokoll.



9. ábra Címke kapcsolás (tag switching)

A módszer lényege abban áll, hogy az adatsomagokhoz rendelnek 20 bit hosszúságú *címkeket* (*label, tag*) [11]. A *címke* az IP *header* elé vagy ATM⁸ (*Asynchronous Transfer Mode*) esetén a *fejlécbe* kerül. Minden IP csomag kap egy *címket*, amikor az MPLS

⁷ RIP: *Routing Information Protocol*, útválasztási protokoll; OSPF: *Open Shortest Path First*, legrövidebb út először; BGP: *Border Gateway Protocol*, külső átjáróprotokoll.

⁸ ATM (*Asynchronous Transfer Mode*, aszinkron átviteli mód): virtuális áramkörként működő, kapcsolat orientált adatátvitel.

hálózatba kerül. A hálózatot alkotó eszközök közös elnevezése LSR (*Label Switch Routers, címkekapcsolt útválasztók*), a hálózaton belüli címkekiosztásról az LDP (*Label Distribution Protocol, címke elosztó protokoll*) gondoskodik. A hálózatok túlnyomó többségében az MPLS címkek számok, de csak helyi jelentéssel bírnak, azaz két LSR között csak egy megadott kapcsolatban érvényesek [12]. A *Tag Edge routerek (Edge LSR – határmenti LSR)* ugyanazokat az útválasztó protokollokat használják, mint a hagyományos *routerek*, így teljes mértékben kompatibilisek egymással.

Ha a *határmenti (bemeneti) útválasztóhoz* egy csomag érkezik, megcímkézi – ad egy kezdeti értéket a FEC (*Forwarding Equivalence Class, továbbítási ekvivalenciaosztály*) vizsgálatát követően –, elemzi a *hálózati fejrészét*, és ez alapján kiválasztja a *routing táblázatból a következő állomást (next hop)*, majd továbbítja a vele szomszédos (*belső*) *tag kapcsolónak (Core LSR)*. A *címke* azonosítja az adott osztályba tartozó forgalmat és a megkívánt QoS paraméterek mutatóit. A *tag switch (vagy ATM router)* nem az IP cím, hanem egész egyszerűen csak a *címke* alapján továbbítja a csomagot a következő *kapcsoló* felé, nem bíbelődik a *fejléc* elemzésével. A *címke* szerint történő kapcsolás során használható két LSR közötti utat LSP-nek (*Label Switched Path, címkekapcsolt út*) nevezzük, ami egy virtuális áramkörnek felel meg. Az adategység útja a *Core LSR*-ből ismét az MPLS hálózat egyik *határmenti Edge LSR útválasztójához* érkezik, és ezen keresztül lép ki a hálózatból.

Az MPLS osztályonként választja ki az utat, ezért *osztályonkénti útválasztást (per class routing)* valósít meg. Képes együttműködni az IPv4, IPv6, IPX⁹, és az *AppleTalk*¹⁰ hálózatokkal. Innen ered az elnevezése is: *multi-protocol (többprotokollos) címkekapcsolás*. Az ATM, Ethernet, FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*), PPP (*Point-to-Point Protocol*), és *Frame Relay* hálózatelérési protokollokkal is kompatibilis.

1. Táblázat IP hálózatok QoS nyújtási összehasonlítása

| | Hagyományos IP | DiffServ | MPLS | IntServ |
|-------------------------------|----------------|------------------------------|------|----------------------------|
| <i>QoS nyújtásának alapja</i> | Nincs | Osztályonként (per class) | | Folyamonként (per flow) |

⁹ IPX (*Internetwork eXchange Protocol - hálózatok közti adatsere protokoll*): a Novell saját fejlesztésű, csomag alapú kommunikációs protokollja

¹⁰ AppleTalk: az *Apple Computers* által fejlesztett kommunikációs protokoll *Macintosh* hálózatok részére.

4. Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Hosszú Gábor: *Az internetes kommunikáció informatikai alapjai*, Novella Kiadó, 2005
- [2] Origo techbázis: *Miért és hogyan QoS?*
<http://www.origo.hu/techbázis/internet/20020902miert.html>
- [3] Telbisz Ferenc: *Internet QoS - lehetőség vagy délibáb?*
<https://nws.niif.hu/ncd2001/docs/eloadas/16/index.htm>
- [4] Gál Zoltán: *Adatátviteli hálózatok QoS jellemzése*, DE TEK Információtechnológiai Központ, 9. Gyires Béla Informatikai Nap 2007.
http://www.inf.unideb.hu/kutatas/gybin/gybin09/Gal_Zoltan.ppt
- [5] Christian Schmutzer (Cisco Systems): *(IP) Quality of Service*, AINAC Conference 2003.
http://ainac.tgm.ac.at/oldainac/ainac03/public_html/download/
- [6] TIPSTER6 konzorcium: *IPv6 bemutatása*, 2000
<http://ipv6.niif.hu/tipster6/papers/overview/3.fejezet.html>
- [7] Dr. Réthy György: *Valósídejű IP hálózatok*, Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület, 2007
<http://www.hte.hu/hte2007/data/upload/File/online/THIS/4.pdf>
- [8] Szabó Róbert: *Minőségi szolgáltatások IP hálózatokban*, Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület, 2007
<http://www.hte.hu/hte2007/data/upload/File/online/THIS/3.pdf>
- [9] Garzó András: *Torlódásvédelem*, Kiskapu Kft. 2005. június
<http://www.linuxvilag.hu>
- [10] Wiener József: *Távközlési hálózatok szolgáltatás-menedzselése*, Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület, 2007
<http://www.hte.hu/hte2007/data/upload/File/online/THIS/7.pdf>
- [11] Telbisz Ferenc: *Merre tart az Internet?*
<http://www.iif.hu/rendezvenyek/networkshop/98/eloadas/html/b/ftelbisz/ftelbisz.htm>
- [12] Wikipedia: *Differentiated Services*
http://en.wikipedia.org/wiki/Differentiated_services