

Ethernet a szolgáltatói hálózatokban

DR. VARGA BALÁZS

PKI-FI Matáv Rt., Szélessávú Szolgáltatások Fejlesztési Osztály
varga.balazs@ln.matav.hu

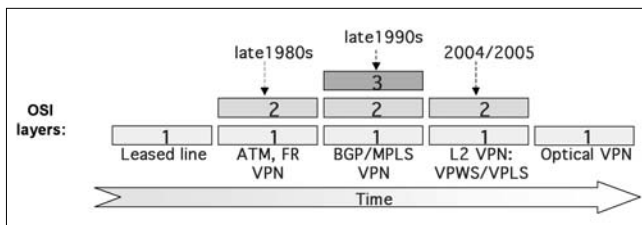
Kulcsszavak: Ethernet, MPLS, QinQ, MAC-in-MAC, VPWS, VPLS, H-VPLS

Az Ethernet technológia immáron évtizedek óta a LAN hálózatok legkedveltebb megoldása, ami elsősorban az „Ethernet control-plane” folyamatos fejlesztésének, a megnövelt átviteli képességnek és a csökkenő költségeknek tudható be. A közelmúltban mindinkább az érdeklődés középpontjába került az Ethernet technológia alkalmazása szolgáltatói hálózatokban is.

1. Az Ethernet technológia térhódítása

Az Ethernet sok szempontból kihívást jelent a szabványosítási szervezetek és a szolgáltatók számára, hiszen az eredeti szabvány számos ponton kiegészítésre szorul, melyek elengedhetetlenek az üzemeltetés, a hálózat felügyelet, a karbantartás és a létesítés támogatás területén [1,3].

A technológia azonban nem csak a hálózatépítési terén hódít, hanem mint szolgáltatás átadási pontként (UNI interfész) sőt natív szolgáltatásként (L2 VPN) is egyre inkább tért nyer [2].



1. ábra Szolgáltatások fejlődése, „L2 Reneszánsz”

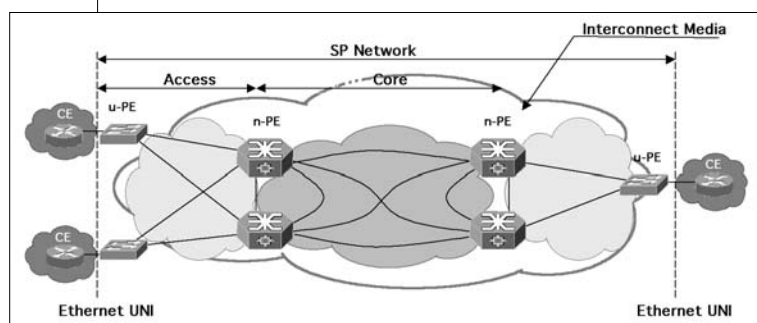
Az Ethernet-es UNI interfész a gyakorlatban egy szabványos 802.3 PHY és MAC rétegnek felel meg, kiegészítve a szolgáltatói hálózatokban szükséges képességekkel, mint például: felhasználói forgalom szeparációja, sávszélesség korlátozás, prioritás jelölés, sorban állási támogatás, számlázási adatok gyűjtése, L2 vezérlési protokollok kezelése, stb. L2 VPN szolgáltatás alatt egy olyan LAN-szerű szolgáltatásról van szó, amely során a szolgáltató a felhasználó telephelyei között az Ethernet keretek L2 szintű továbbítását biztosítja („single bridged domain”). A felhasználó számára a szolgáltatói hálózat egyetlen Ethernet-kapcsolóként/szegmensként viselkedik, azaz nincs szükség (i) protokoll konverzióra a LAN/WAN határon, (ii) WAN protokollok (pl. Frame-relay) ismeretére, továbbá (iii) teljes a felhasználó szabadsága a L3 protokollok (IP, IPX, AppleTalk stb.) tekintetében [5].

A 2. ábra egy tipikus L2 VPN szolgáltatást nyújtó szolgáltatói hálózatot mutat [4].

Egy ilyen szolgáltatói hálózat építésekor az alábbi témákkal kapcsolatosan merülnek fel kérdések:

- **UNI interfész:**
 - (i) felhasználói STP és BPDU keretek kezelése,
 - (ii) 802.1x, 802.3x,
 - (iii) 802.3ad,
 - (iv) felhasználói protokollok kezelése (GVRP, GMRP, LLDP), ...
- **Elérési hálózat (EH):**
 - (i) Szabványos IEEE bridge-ek használhatósága,
 - (ii) Felhasználói VLAN transzparencia,
 - (iii) Skálázhatóság a MAC címek tekintetében,
 - (iv) Redundancia,
 - (v) OAM&P, ...
- **Átviteli média (ÁM):**
 - (i) MPLS/L2TPv3/IEEE Bridge-ek/egyéb eszközök használata,
 - (ii) Redundancia: L2 címek visszavonása,
 - (iii) „Pseudo Wire” (PW) enkapszuláció & jelzés,
 - (iv) Automatikus hálózati felderítés,
 - (v) OAM&P, ...
- **EH&ÁM kapcsolat:**
 - (i) redundancia, PW-kel történő együttműködés,
 - (ii) kettős bekötés,
 - (iii) szolgáltatói hálózaton kívüli linkek (Backdoor),
 - (iv) STP & címzés skálázhatóság,
 - (v) OAM&P, ...

2. ábra L2 VPN Szolgáltatói Hálózat [4]



2. Ethernet vonatkozású szabványosítási szervezetek

Ma már minden „magára valamit is adó” szabványosítási szervezet foglalkozik Ethernet vonatkozású kérdésekkel. A legfontosabb „játékosok” közé az alábbi szervezetek tartoznak [5]:

- **ITU-T:** SDH és MPLS alapú hálózatok és az Ethernet adaptációja, Ethernet alapú szolgáltatások szabványosítása, Ethernet vonatkozású OAM követelmények és specifikációk.

- **IETF:** Ethernet link-ek és LAN-ok emulálása csomagkapcsolt hálózatokon, pont-pont kapcsolatok, L2 VPN kialakítása.

- **IEEE:** Ethernet vezérlési sík fejlesztése (STP, RSTP, MST stb.), OAM kérdések, Ethernetes elérési hálózatok (EFM).

- **DSL Forum:** Ethernet használata a DSL hálózatokban, Ethernetes aggregáció.

- **MEF:** Szolgáltatási attribútumok és paraméterek, UNI interfész, Ethernet-LMI.

Ezek a szervezetek mindegyike kidolgozta saját Ethernetes terminológiáját, mely számos ponton eltér egymástól azonban gyakran ugyanazon fogalmat takarja. Ez nem egyszerűsíti sem a gyártók, sem a szolgáltatók, sem a felhasználók életét.

A szolgáltatói szintű Ethernet megvalósításának legkritikusabb területei a következők: (i) skálázhatóság, (ii) Spanning Tree protokoll problémái (konvergencia, terhelés megosztás, diameter stb.), (iii) megtanulandó MAC címek száma és (iv) konvergencia nagyméretű hálózatokban [5].

3. Nem MPLS alapú Ethernet technológiák

A „nem MPLS alapú” Ethernet technológiák fejlesztésével alapvetően az IEEE foglalkozik. Az IEEE álláspontja szerint csupán minimális szoftver módosításokat igénylő szabvány változtatásokat kell végrehajtani a skálázhatóság és a redundancia tekintetében annak érdekében, hogy a meglévő eszközök (azaz 802.1D Bridge-ek) továbbra is használhatóak legyenek.

3.1. 802.1ad Szolgáltatói Bridge-k

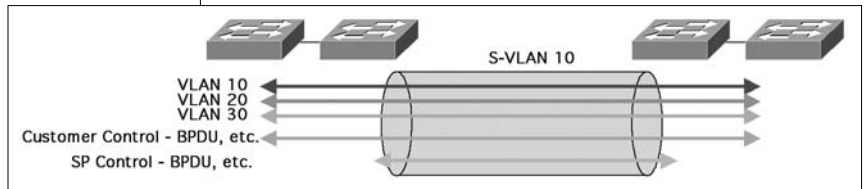
Az IEEE 802.1ad szabványtervezete lehetővé teszi a szolgáltatók számára, hogy az IEEE 802.1Q szabványban rögzített protokollokra és hálózati architektúrára építve LAN-szerű szolgáltatást nyújtson több ügyfél számára egyazon hálózati infrastruktúrán [6].

A szabványtervezet teljes szabadságot biztosít a felhasználók számára helyi há-

lózatukban és csak minimális egyeztetést tesz szükségessé a felhasználó és a szolgáltató között. A szolgáltatói eszközök a szabványos meglévő Ethernet kapcsolók ASIC-jeinek átprogramozásával valósíthatók meg. Az átprogramozás a felhasználói BPDU, GARP stb. keretek L2 címeit és a 802.1Q előtagbeli EtherType protokollazonosító értékét érinti. Eredményképpen a felhasználói .1Q azonosítók a szolgáltatói eszközök számára irrelevanttá válnak és a szolgáltatói hálózat a felhasználói Ethernet kereteket mint előtag nélküli Ethernet keretként kezelik. A felhasználó L2 vezérlési protokolljait (pl. BPDU) hordozó keretek továbbítása pedig a normál multicast keretek továbbítási szabályok szerint történik.

A 802.1ad szabványtervezet gyakran „kettős .1Q” vagy „Q-in-Q” enkapsulációként is szokás emlegetni. Maga a dokumentum számos új fogalmat/rövidítést vezet be: S-TAG Service VLAN TAG; S-VID Service VLAN ID; S-VLAN Service VLAN; C-TAG Customer VLAN TAG; C-VID Customer VLAN ID; C-VLAN Customer VLAN. Megkülönböztetésre kerülnek továbbá a „hagyományos” .1Q Ethernet Bridge-ek (Customer-VLAN aware Bridges) és a Szolgáltatói Ethernet Bridge-ek (Service-VLAN aware Bridge).

A Szolgáltatói Bridge eszközök tehát hagyományos 802.1Q VLAN Bridge eszközként működnek, de eltérő MAC címeket használnak a L2 vezérlési protokollok továbbításakor és eltérő (jelenleg még nem rögzített) EtherType értéket a VLAN előtagban. A gyakorlatban egy Szolgáltatói VLAN (S-VLAN) egy felhasználónak feleltethető meg (Customer Service Instance).

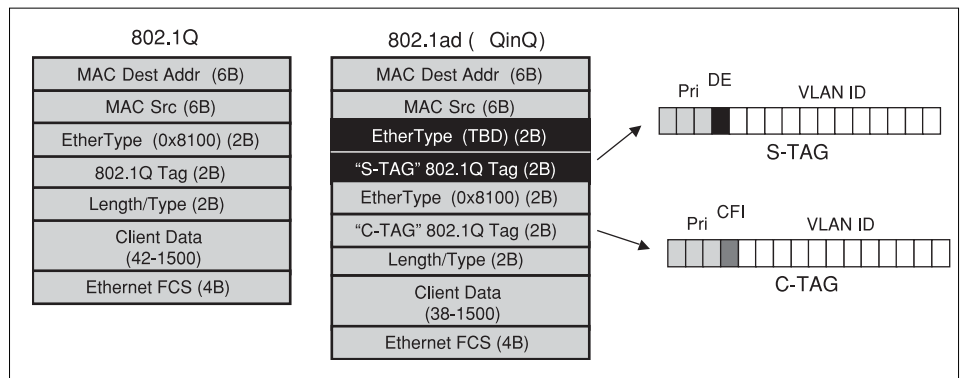


3. ábra
VLAN és L2CP kezelés 802.1ad eszközökben

A 802.1ad két előtagot specifikál::

- Felhasználói VLAN TAG (C-TAG), amely VLAN Bridge eszközök esetén használatos,
- Szolgáltatói VLAN TAG (S-TAG), amely Szolgáltatói Bridge eszközök esetén használatos.

4. ábra
802.1ad szerinti Ethernet keretstruktúra



Az előtagok azonos struktúrájúak. Az egyetlen eltérés, hogy a mai hálózatokban szükségtelenné vált CFI bit (Canonical Format Indicator) helyett a QinQ előtagban egy DE bit (Discard Eligibility) került rögzítésre, ami a prioritás értékek kiterjesztését teszi lehetővé. Az Ethernet keretek felépítését a 4. ábra mutatja.

A szolgáltató hálózatban a L2 vezérlési protokollok (L2CP: L2 Control Protocol) speciális kezelésére van szükség. Számbavéve a lényeges L2 protokollokat megállapítható, hogy 33 speciális L2 multicast címről van szó: 16 a BPDU blokkban, 16 a GARP blokkban és egy „valamennyi Bridge eszköz” cím. Ezen protokollok közül néhány pont-pont relációban értelmezett és átvitele szükségtelen többpont jellegű szolgáltatások során.

A 802.1ad szabványtervezet rögzíti a fenntartott MAC címeket, melyeket permanensen rögzíteni kell a felhasználói és a szolgáltatói Ethernet Bridge eszközben (Filtering Database). A felhasználó L2 vezérlési protokollok szempontjából a Szolgáltatói Ethernet Bridge eszköz az alábbi módokon működhet:

- Transzparens a protokoll működése szempontjából, azaz a szolgáltatói hálózat egy fizikai LAN szegmensnek tekinthető.
- Eldobja a L2CP kereteket, azaz a szolgáltatói hálózat blokkolja ezen protokollok átvitelét.
- Végződteti a protokollt (peering), azaz a kapcsolódási pontokon részt vesz a protokoll működésében,
- Mint önálló eszköz részt vesz a felhasználói protokoll működésében.

A szolgáltatói eszközök konfigurációja az előbbieket tekintetében történhet

- (i) port szinten, azaz mind a 33 speciális címre vonatkozóan,
- (ii) címenként, azaz a 33 szabványos MAC cím valamelyére vagy
- (iii) protokoll szinten, azaz egy adott L2 protokollra.

Fontos megjegyezni, hogy a címenkénti és a protokoll szintű beállítása esetében szükség lehet az előfizetői berendezés speciális konfigurációjára, hiszen az egyes protokollok esetében egyazon interfészen különböző berendezésekkel kell együttműködni.

A 802.1ad szabványtervezet támogatja a több szolgáltató hálózati topológiákat is, melyekben a felhasználói végpontok különböző szolgáltatói hálózatokhoz kapcsolódnak. A különböző szolgáltatói hálózatokban használt S-VLAN azonosítók egyedisége azok transzlációjával (VID Translation Table) biztosítható, ami a szolgáltató hálózatok összekapcsolási pontján kell megvalósuljon.

A 802.1ad szerint Szolgáltatói Bridge eszközök működése a 802.1Q eszközökön alapul, így a szolgáltató hálózatokban is kihasználhatóak a 802.1w és a 802.1s

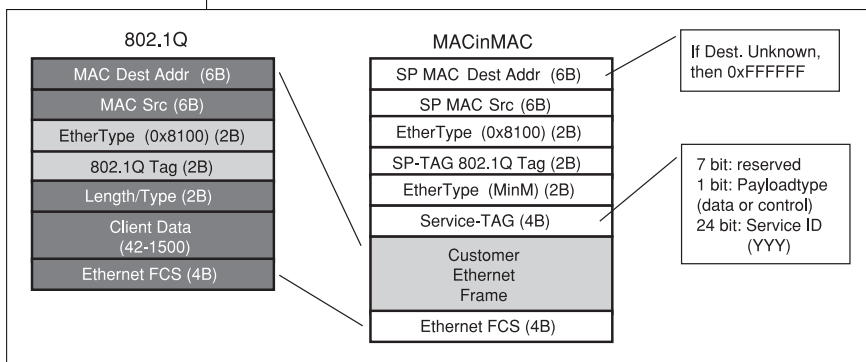
szabványok nyújtotta előnyök (gyorsabb konvergencia, traffic engineering, terhelés megosztás stb.).

A 802.1ad jelenleg „draft” állapotban van, néhány nyitott kérdés továbbra is kutatások tárgyát képezi. Ezek közül talán a kettős bekötés (Dual homing) problematikája a legfontosabb, ahol megoldást kell találni például a felhasználói hálózatban végbemenő topológia változás és a szolgáltatói hálózatbeli MAC cím tanulás közötti együttműködés metodikájára.

3.2. MAC-in-MAC technológia

Az IEEE másik fő kutatási iránya az Ethernet eszközök szolgáltatói környezetben történő alkalmazása érdekében a „MAC-in-MAC” technológia. Ez gyakorlatilag egy L2 szintű enkapszulációs technikát takar. A felhasználói Ethernet kereteket a szolgáltató a belépési ponton egy új Ethernet fejrészsel látja el, melyet a kilépési ponton eltávolít.

5. ábra
MAC-in-MAC szerinti Ethernet keretstruktúra



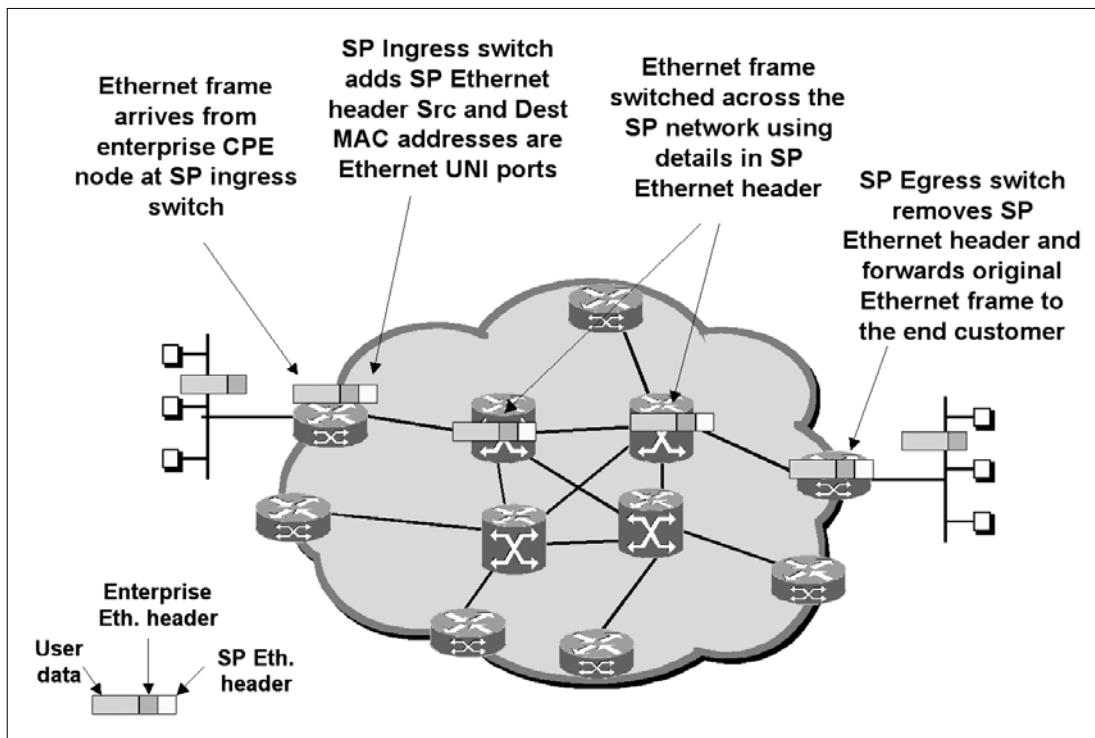
Az Ethernet keretek felépítését az 5. ábra mutatja.

A módszer hátránya, hogy jelentősen megnöveli az Ethernet keretek méretét. Ugyanakkor viszont ez a technika lehetővé teszi a skálázhatóság jelentős növelését, hiszen a szolgáltatást azonosító mező (Service ID) 24 bites szemben a „Q-in-Q” esetében használt 12 bites VID mezővel. Megoldást ad továbbá a szolgáltató hálózatban megtanulandó MAC címek számának „elburjánzása” tekintetében is, mivel az új Ethernet keret forrás és célcímei a szolgáltató eszközeit azonosítja. A hálózaton belül az Ethernet keret továbbítása az új célcím alapján történik. A szolgáltató hálózatban megtanulandó L2 címek száma gyakorlatilag megegyezik a szolgáltató eszközeinek számával függetlenül a felhasználók számától, a felhasználói VLAN-ok számától és a felhasználói MAC címek számától. A hálózat működését a következő oldali, 6. ábra mutatja [7].

További kutatás tárgyát képezi az IEEE-ben, hogy miként célszerű a „Q-in-Q” és a „MAC-in-MAC” technológiákat ötvözni egy szolgáltatói hálózatban.

4. MPLS alapú Ethernet technológiák

Az MPLS alapú technológiák fejlesztésével elsősorban az IETF foglalkozik. Az IETF-en belül két technológiát kell megkülönböztetni:



6. ábra
MAC-in-MAC
alapú
hálózat
működése

- VPWS (Virtual Private Wire Service),
- VPLS (Virtual Private LAN Service).

A VPWS gyakorlatilag egy pont-pont szolgáltatásnak felel meg, míg a VPLS egy LAN hálózatot emulál a végfelhasználó szempontjából.

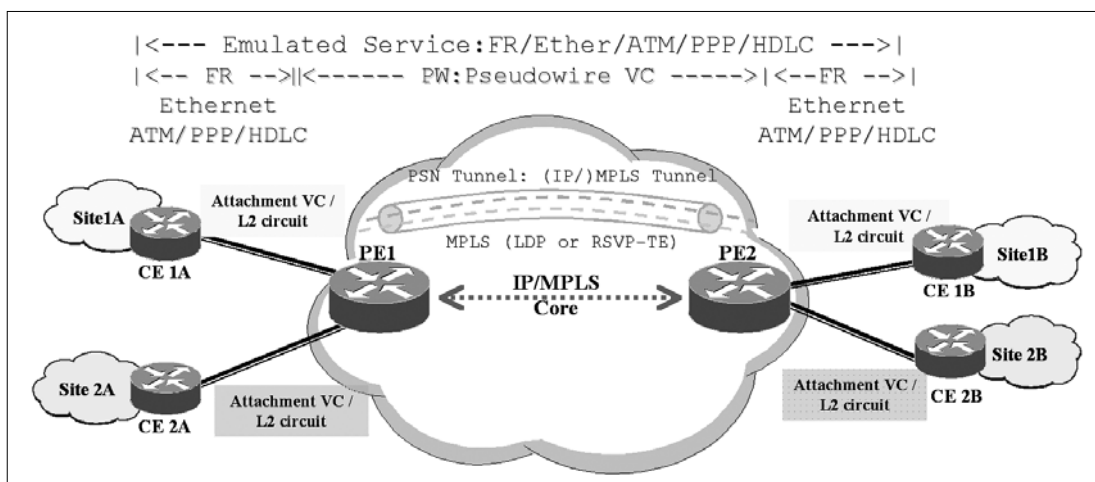
4.1. Pseudo Wire koncepció (VPWS)

A VPWS megoldásokkal az IETF-en belül PWE3 (Pseudo Wire Emulation Edge to Edge) munkacsoport foglalkozik [8,9]. A „Pseudo Wire” (PW) elnevezés egy olyan pont-pont összeköttetést takar, ami funkcionálisan ekvivalens egy L2 szolgáltatással (pl. FR, ATM, Ethernet, TDM stb.). A VPWS egyik fontos jellemzője, hogy lehetővé teszi a különböző média típusok közötti együttműködést, azaz a PW végpontjai lehetnek eltérő technológiájúak lehetnek. Az IETF referencia modellt a 7. ábra mutatja.

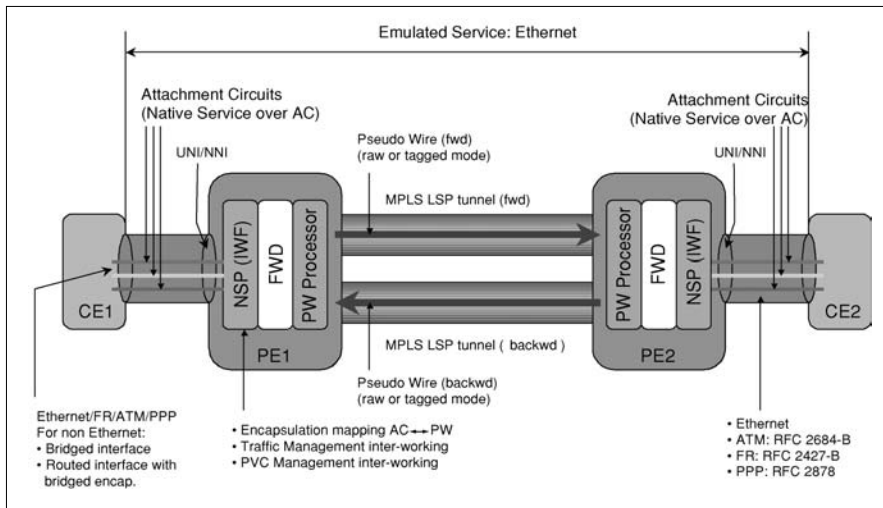
Az MPLS hálózaton történő L2 keretek továbbítása kettős címkék („label stack”) használatával történik,

melynek alapelvei azonosak az IP VPN (RFC2547) esetében alkalmazott megoldással. A külső címke a kilépési PE eszközt azonosítja, míg a belső címke a felhasználóhoz tartozó virtuális áramkört (VC, Virtual Circuit). A belső címkék kiosztása LDP protokoll alkalmazásával valósul meg („targeted LDP session”). A PW támogatáshoz új LDP leírók (TLV) definiálása történt. A címkék kiosztása úgynevezett „downstream unsolicited” módban valósul meg. Amennyiben PW végpontokon az elérési szakasz áramkörében (AC, attachment circuit) probléma mutatkozik a címkék visszavonásra kerülnek (RFC3036, „label withdraw”).

A virtuális áramkörök kétféle módon működhetnek: (i) nyers mód („raw mode”) és (ii) előtagos mód („tagged mode”). Az első esetben a L2 keretek hordozta előtagokat a szolgáltató transzparenensen kezeli, míg a második esetben a PW végpontokon az előtagot a szolgáltató feldolgozza. A különböző technológiájú VC végpontok közötti együttműködés az Ethernet technológia.



7. ábra
VPWS
referencia modell



8. ábra
VPWS együttműködés eltérő technológiájú hálózati végpontok esetén [4]

Az MPLS hálózaton keresztül az információ Ethernet keretek MPLS enkapszulációja formájában történik, azaz egyéb technológiák esetében az átalakításra tetszőleges technológiáról Ethernetre történik lecsökkentve az implementálandó funkciók számát (8. ábra). A szolgáltatással kapcsolatos intelligencia a hálózat széli eszközökben valósul meg.

Lévén, hogy az MPLS hálózatokban a fregmentáció nem megengedett hálózati linkeken használatos MTU értékeket méretezni kell.

4.2. VPLS, H-VPLS

A VPLS technológia a PW koncepcióra épül, azaz leegyszerűsítve a kérdést a VPWS többpontos topológiára történő „kiegészítéséről” van szó [10]. Noha ez igen egyszerűen hangzik számos nehezen kezelhető műszaki probléma merül fel egy L2-es többpontos hálózatban, amely „Ethernet bridging” technikára épít. Ide-

ális esetben a VPLS egy MAC cím tanulási képességgel felruházott LAN szegmensnek feleltethető meg. A szabványosítási munka kezdeti fázisában VPLS végpontok csak Ethernet hálózati kapcsolattal bírhattak, azonban ma már a nem Ethernetes végpontok összekapcsolására is lehetőség van.

A többpont képesség megte-remtéséhez a VPWS képességeken túl egy addicionális funkcionálitással (VSI – Virtual Switching Instance) kellett kiegészíteni a PE eszközöket. A PE eszközök között szövevényes („full-mesh”)

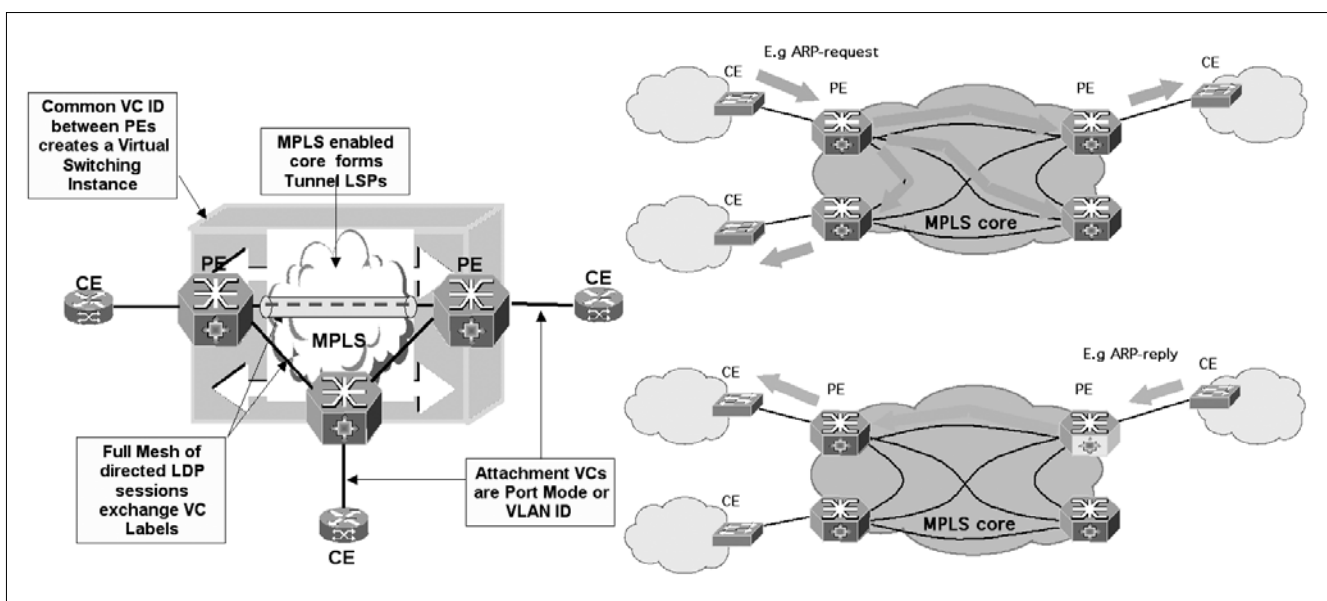
PW kapcsolatra van szükség és a VSI funkcionalitás feladata annak eldöntése, hogy egy Ethernet keretet mely PW-(ek)en kell továbbítani. Az Ethernet keretek továbbítási szabályai a következők:

- (i) elárasztásos technika („flooding”) a broadcast/multicast/unknown-unicast keretek esetében,
- (ii) MAC cím tanulás az egyes PW-eken és AC-eken érkező keretekre,
- (iii) csak adott PW-en keresztüli továbbítás az unicast keretekre.

A hurokmentes topológiát a VPLS tartományban úgynevezett „Split Horizon” technikával biztosítják, azaz egy PW-en érkező keret csak AC-ek felé továbbítható és viszont.

A VPLS ajánlás feltételezi a PE eszközök közötti címkekapcsolt útvonalak (LSP – Label Switched Path) meglétét. A kutatók két protokollt javasoltak ezen LSP-k felépítésére az LDP-t és a BGP-t [11,12]. Mindkét tábor számos érvet és ellenérvet hozott fel saját igaza mellett, az implementációk azonban jellemzően az LDP-t támogatják.

9. ábra VPLS referencia modell és működés



Számos nyitott kérdés van még a VPLS hálózatok optimalizálása tekintetében, melyek közül a legfontosabbak a következők:

- (i) Routing protokollokkal történő együttműködés,
- (ii) QoS biztosítási módszerek,
- (iii) multicast forgalom továbbításának optimalizálása.

A kutatómunka intenzíven folyik ezen a területen.

A VPLS hálózatok építésének egyik sarkalatos pontja a skálázhatóság kérdése, ugyanis az elárasztásos technikával történő keret továbbítás számos teljesítőképességi kérdést vet fel. Egy másik sarkalatos kérdés a szolgáltatói hálózatokban a redundancia. Ezen két kihívásra a kutatók a megoldást VPLS továbbgondolásában, azaz a H-VPLS (Hierarchical VPLS), rendszertechnika megalkotásában látják. Sok kutatómunkára van azonban még szükség, hogy a H-VPLS hálózatok nyitott kérdései megoldódjanak.

5. Felhasználói végberendezések

Szemben a hagyományos L2 technológiákkal (pl. FR, ATM stb.) az Ethernet alapú L2 VPN szolgáltatás esetében nem közömbös a szolgáltató számára, hogy a felhasználó milyen eszközöket kíván összekapcsolni a szolgáltatói hálózaton keresztül: L2 vagy L3 eszközöket.

Az L2 eszközök esetében számos korlát merül fel. Ilyen korlát például a RSTP használata, mivel azon felhasználók akik hálózataikban a gyorsabb konvergenciát biztosító STP-t használják (802.1w Rapid Spanning Tree, RSTP) nem élvezhetik annak előnyeit, ha telephelyeiket L2 VPN szolgáltatás segítségével kapcsolják össze. Ennek oka a következő:

- A RSTP használata kizárólag akkor eredményez gyorsabb konvergenciát amennyiben: (i) a hálózat pont-pont full-duplex linkekből építkezik, (ii) „edge” portok megfelelő azonosítása megtörtént, és (iii) nincs szükség 802.1D eszközökkel való együttműködésre.
- L2 VPN szolgáltatást biztosító szolgáltatói eszközök teljesen transzparensnek a felhasználói BPDU-k továbbítása szempontjából, ezért kettőnél több végpont esetén a szolgáltatói hálózat nem tekinthető pont-pont kapcsolatnak.

A gyorsabb konvergencia első feltétele tehát sérül, azaz a felhasználók csupán a STP hagyományos meg lehetőségen lassú konvergenciáját tapasztalják. A korlátozás mind a 802.1ad, mind a VPLS alkalmazásakor fennáll [5]. A L3 felhasználói végberendezések hasz-

nálata komoly könnyebbséget jelent a szolgáltatók számára, így elsősorban ezen eszközök a preferáltak. A L2/L3 felhasználói végberendezések használatának összevetése jelenleg folyamatosan napirenden van az IETF munkacsoportjainak ülésein.

6. Összegzés

Sokak szerint az Ethernet technológia térnyerése alapjaiban rengette meg a távközlési hálózatok építését. Ugyanakkor számos kiegészítésre van szükség a szolgáltatói környezetben történő alkalmazás valóban széleskörű elterjedéséhez.

Nem vitás, hogy egy nagyon ígéretes technológiáról van szó, alkalmazása azonban gondos körültekintést igényel, hogy a felhasználói elvárásoknak megfelelő hálózatok és szolgáltatások épülhessenek.

Irodalom

- [1] Varga B., Géczy Cs., „Ethernet alapú szolgáltatói hálózatok, szolgáltatások”, PKI-Közlemények, 2003
- [2] Eurescom P1245 (2003 March), “Ethernet Based Access Networks (EASY)”
- [3] Varga B., „Ethernet alapú elérési hálózatok”, Magyar Távközlés, 2003Q1
- [4] F. Brockners, „Metro Ethernet Deployment”, CPN Operations Symposium, Paris, 2004 Sept.
- [5] Varga B., „Ethernet in Provider Networks – From RJ45 towards H-VPLS”, Cisco-Expo, Budapest, 2004 Nov.
- [6] “Virtual Bridged Local Area Networks – Amendment 4: Provider Bridges”, IEEE P802.1ad Draft, 2004
- [7] T. Hubbard, „Optimizing Ethernet Deployment”, IIR Conference: Delivering Ethernet Services, Budapest, 2004 Sept.
- [8] S. Bryant, P. Pate, „PWE3 Architecture”, draft-ietf-pwe3-arch-07.txt
- [9] X. Xiao, D. McPherson, P. Pate, „Requirements for Pseudo-Wire Emulation Edge-to-Edge (PWE3)”, RFC3916
- [10] L. Andersson, E. C. Rosen, „Framework for Layer 2 Virtual Private Networks (L2VPNs)”, draft-ietf-l2vpn-l2-framework-05.txt
- [11] K. Kompella, Y. Rekhter, „Virtual Private LAN Service”, draft-ietf-l2vpn-vpls-bgp-03.txt
- [12] M. Lasserre, V. Kompella, “Virtual Private LAN Services over MPLS”, draft-ietf-l2vpn-vpls-ldp-05.txt

10. ábra VPLS és H-VPLS hálózati architektúrák

