

**Optické prístupové siete**

**Gigabit-capable passive optical network (G-PON)**

**Ethernet Passive Optical Network (EPON)**

## Obsah

1	Optické prístupové siete .....	3
1.1	Pasívna optická distribučná sieť .....	3
1.2	Aktívna optická distribučná sieť .....	5
2	Technológia G-PON .....	7
2.1	Architektúra G-PON siete a jej základné vlastnosti .....	7
2.2	Vrstvový model G-PON .....	9
2.3	Základy prenosu v zostupnom (downstream) a vzostupnom (upstream) smere.....	10
2.4	Identifikátory a terminológia používaná v G-PON .....	11
2.5	Vytváranie rámcov vrstvou G-PON Transmission Convergence (GTC) .....	12
2.5.1	Štruktúra downstream GTC rámca .....	13
2.5.2	Štruktúra upstream GTC rámca.....	13
2.6	Mapovanie GEM rámcov do informačného poľa GTC rámca .....	14
2.7	Rámcová synchronizácia GEM rámcov a určovanie začiatku a konca GEM rámcov	16
2.8	Fragmentácia používateľských rámcov .....	16
2.9	Mapovanie používateľských rámcov a dát do GEM rámcov .....	17
3	EPON – Ethernet Passive Optical Network .....	20
3.1	Rámce v EPON.....	21
4	Porovnanie technológií GPON a EPON.....	23
5	Konfiguračný súbor GPON OLT .....	27
6	Literatúra .....	30

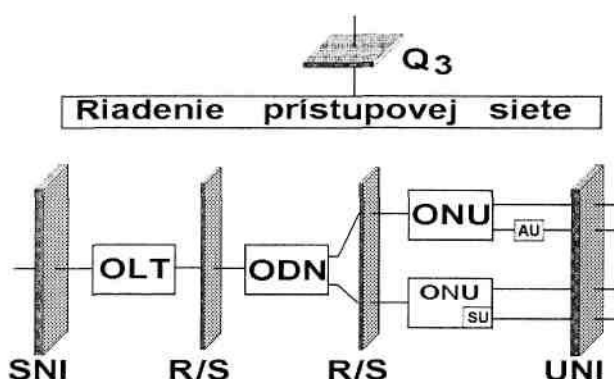
# 1 Optické prístupové siete

Cieľom všetkých operátorov telekomunikačných sietí je vytvorenie siete, ktorá bude poskytovať všetky služby požadované účastníkmi, to znamená služby úzkopásmové i širokopásmové, interaktívne i distribučné. Optické prístupové systémy v súčasnosti majú tri typické aplikačné oblasti:

- systémy určené na prenos distribučných služieb typu CATV
- širokopásmové, multifunkčné systémy podporujúce vysokorýchlostný prenos dát
- poskytovanie služieb VoD

Referenčná konfigurácia optickej prístupovej siete podľa odporúčania ETSI 300 463 je zobrazená na obrázku a obsahuje tieto funkčné bloky:

- Optickú distribučnú sieť ODN (Optical Distribution Network)
- Zakončenie ODN v mieste pripojenia na spojovaciu sieť - OLT (Optical Line Termination)
- Zakončenie ODN v mieste pripojenia siete účastníckych prípojk -ONU (Optical Network Unit)
- Riadenie prístupovej siete, ktoré má rozhraním Q3 prístup do TMN
- Rozhrania siete smerom k spojovacej sieti zabezpečujúcej prístup k službám, SNI a k účastníckym terminálom, UNI
- Pomocné jednotky SU (Service Unit) zabezpečujúce adaptačné funkcie rozhraní z hľadiska služieb a jednotky AU (Auxiliary Unit) zabezpečujúce neštandardné typy rozhraní.



*Referenčná architektúra optickej prístupovej siete*

## 1.1 Pasívna optická distribučná sieť

Pri pasívnej optickej sieti, PON (Passive Optical Network) sa DP rieši pasívnou technológiou optickým väzobným členom. Optoelektronická konverzia v sieti PON sa uskutočňuje len v okrajových rozhraniach ODN, cez vlastnú ODN prechádza signál v optickom tvare bez prídavnej EOC. Preto tento typ siete je možné klasifikovať ako plne optickú sieť s jediným optickým úsekom, tzv. „Single-Hop Network“.

Optická distribučná sieť PON má zvyčajne stromovú topológiu. V stromovej architektúre sa predpokladá použitie aspoň jedného DP, pričom je možné vytvorenie kaskády DP. Počet DP zaradených v kaskáde je obmedzený len povoleným tlmením celej siete.

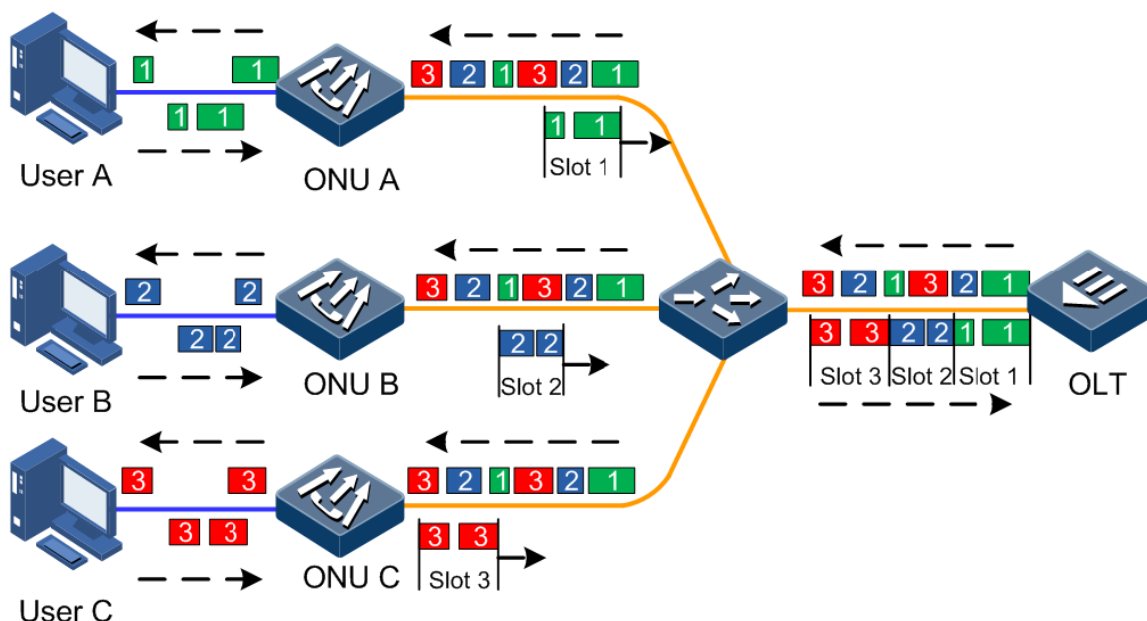
V špeciálnom prípade „nulového DP“ funkciu rozdeľovania prevádzky zabezpečuje samotný OLT. Tým vzniká jednoduchá hviezdicová sieť, ktorá pracuje v režime „bod - bod“. Tlmenie rezervované pre DP je možné využiť na predĺženie dosahu siete - počet pripojených ONU je však limitovaný počtom smerov vytvorených na OLT.

Prenosovým médiom v ODN je jednomódové optické vlákno s vlastnosťami definovanými odporúčaním ETSI. Prednostne sa používa vlnové okno 1310 nm (1260 - 1360 nm), pri použití vlnovo deleného duplexu WDD je možné v smere OLT => ONU využívať i vlnové okno 1550 nm (1480 - 1580 nm). Pasívne optické prvky použité v ODN musia byť recipročné a širokopásmové (1260 - 1580 nm). Pri použití aktívnych optických prvkov, napríklad optických zosilňovačov, určujú prevádzkovú oblasť z hľadiska vlnovej dĺžky ich prenosové vlastnosti.

Pozn.: Štandardne sa napr. pri technológii GPON používajú vlnové dĺžky v oblasti 1490 nm smerom k zákazníkom – downstream a 1310 nm smerom od zákazníkov. Pre 10GPON sa používa oblasť vlnových dĺžok 1577 nm a 1270 nm. O oblasti sa hovorí preto, lebo v skutočnosti laserová dióda nevysiela jednu vlnovú dĺžku, ale relatívne úzke spektrum vlnových dĺžok.



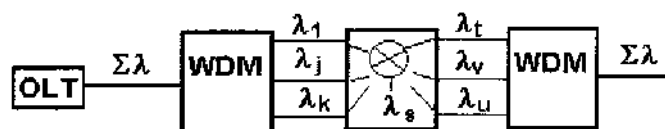
*Pasívne optické distribučné body – couplery alebo splittre*



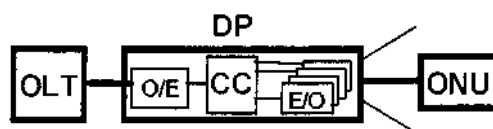
*Princíp komunikácie v PON v smere upstream a downstream*

## 1.2 Aktívna optická distribučná sieť

Pri použití aktívneho distribučného bodu (ADP) hovoríme o aktívnej optickej sieti, AON (Active Optical Network). Ak budeme uvažovať celooptickú sieť s WDMA, môže aktívny DP zvyšovať flexibilitu siete zavedením vlnovej konverzie výlučne len v optickej oblasti, bez použitia EOC.



*Obr. 4.9 Aktívny DP v celooptickej sieti s optickou vlnovou konverziou*



*Aktívny distribučný bod (DP) s elektro-optickou konverziou*

Vo všetkých ostatných prípadoch ADP zabezpečuje prídavnú EOC, takže optický prenos prebieha po úsekoch. Sieť tohto typu označujeme pojmom "Multi-Hop Network". Aktívny DP má v porovnaní s pasívnym navyše dve hlavné funkcie:

- optoelektronickú konverziu,
- spojovaciu funkciu.

Použitím optoelektronickej konverzie v ADP sa fyzicky a logicky oddeľuje primárna a sekundárna časť prístupovej siete. Obe siete prechádzajú do režimu „bod - bod“ a vystačia s

multiplexným spôsobom prenosu (TDM, FDM,...). Z hľadiska optického tlmenia pre AON je možné aktívnu sieť považovať za dva samostatné úseky, OLT  $\Leftrightarrow$  ADP a ADP  $\Leftrightarrow$  ONU. To umožňuje preklenúť v každom úseku celé dovolené vložné optické tlmenie, pričom navyše netreba uvažovať tlmenie pasívneho DP.

Pozn.: Aj napriek tomu, že sú zariadenia v aktívnej sieti nazývané OLT a ONU, tak sa v podstate jedná o aktívne zariadenia s optickými portami, t.j. prepínače s optickými portami a u zákazníka sa nachádzajú zariadenia, ktoré možno nazvať aj optické brány. V princípe možno tieto zariadenia realizovať ako prepínač s SFP konvertormi, alebo u zákazníka ako domáci smerovač s SFP konvertorom.

Spojovacia funkcia predpokladá použitie spojovacieho poľa s úplnou dostupnosťou a obyčajne sa realizuje pomocou funkcie „Crossconnect“. V podstate sa v distribučnom uzle nachádza prepínač alebo smerovač, ktorý pracuje v elektrickej oblasti.

## 2 Technológia G-PON

Technológia Gigabit Passive Optical Network je technológiou pasívnej optickej siete. Tým je povedané všetko podstatné (pozri kapitoly o PON). ☺

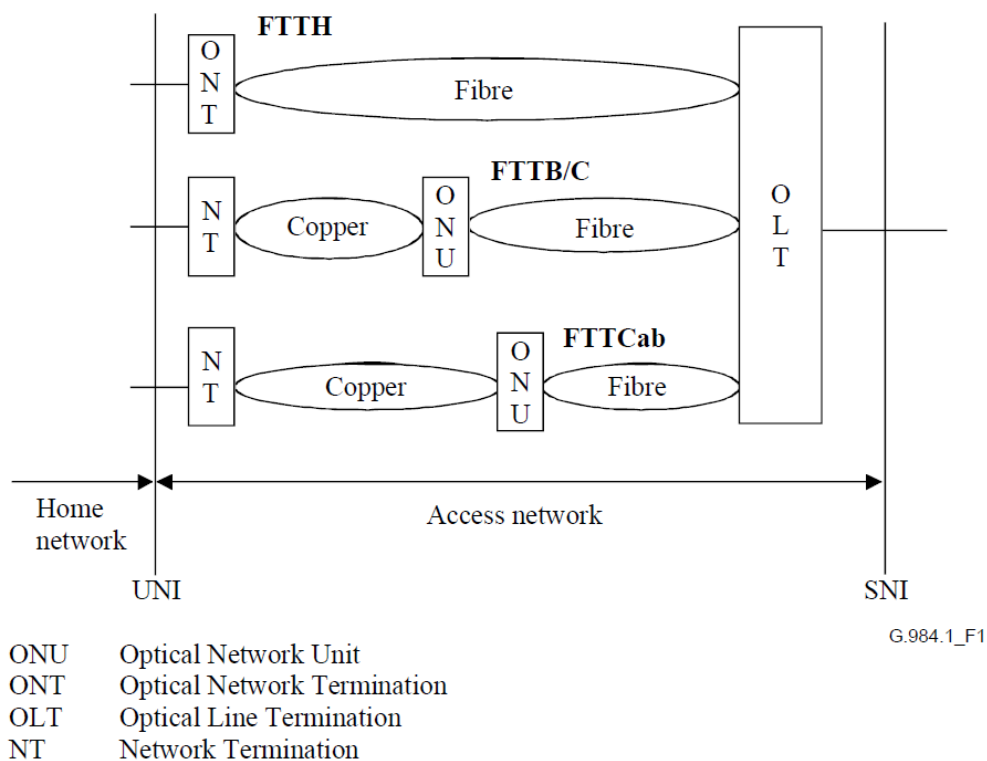
Technológia G-PON je definovaná v (prvých štyroch) odporúčaniach ITU-T:

- G.984.1: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): General characteristics
- G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification
- G.984.3: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification
- G.984.4: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification
- G.984.5: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band
- G.984.6: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Reach extension
- G.984.7: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Long reach

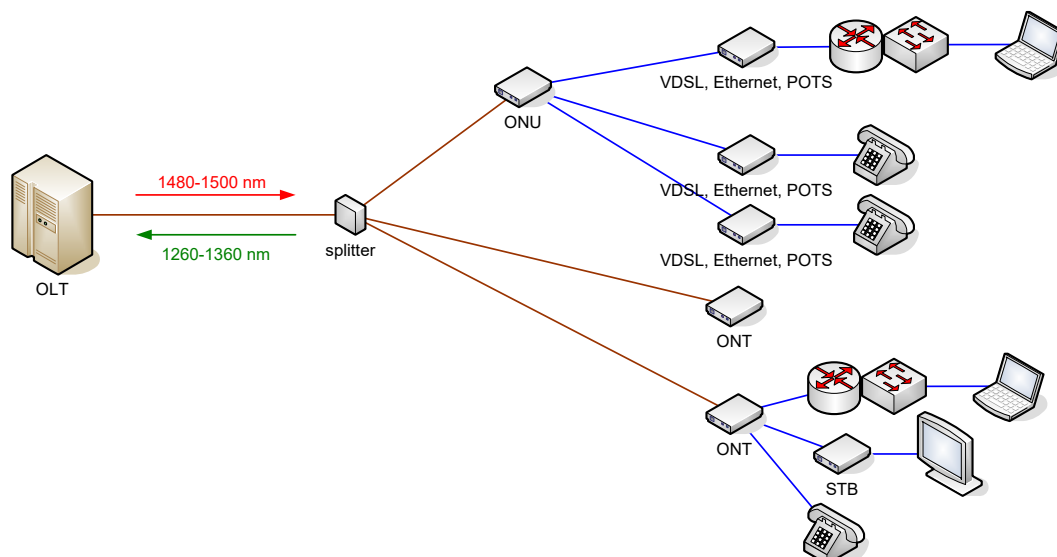
### 2.1 Architektúra G-PON siete a jej základné vlastnosti

Vo všeobecnosti možno technológiu G-PON využiť pre rôzne účely ako súčasť technológie Fiber to the Curb (FTTC), FTTCab Fibre to the Cabinet (FTTCab), Fibre to the Building (FTTB), FTTH Fibre to the Home.

V praxi najčastejším variantom nasadenia G-PON je FTTH.



*FTTx architektúry*



*Pohľad na možnú topológiu pasívnej optickej siete (PON)*

Pozn.: Štandardne sa napr. pri technológii GPON používajú vlnové dĺžky v oblasti 1490 nm smerom k zákazníkovi – downstream a 1310 nm smerom od zákazníkov.

Celkový návrh G-PON je už v samotnom štandarde relatívne dobre premyslený, pričom sa pri jeho návrhu myslelo na manažment a dohľad, ako aj na paralelnú prevádzku s inými systémami používajúcimi iné vlnové dĺžky (WDM).

Základné parametre G-PON možno zhrnúť do nasledujúcich odsekov:

Vo všeobecnosti sú podporované tieto prenosové rýchlosti (down/up), pričom v praxi sú najčastejšie používané posledné dve:

- 1244.16 Mbit/s/155.52 Mbit/s,
- 1244.16 Mbit/s/622.08 Mbit/s,
- 1244.16 Mbit/s/1244.16 Mbit/s,
- 2488.32 Mbit/s/155.52 Mbit/s,
- 2488.32 Mbit/s/622.08 Mbit/s,
- 2488.32 Mbit/s/1244.16 Mbit/s,
- 2488.32 Mbit/s/2488.32 Mbit/s.

**Fyzický dosah systému je limitovaný parametrami fyzickej vrstvy a je štandardne 10km**, čo je vzdialenosť dosiahnuteľná pomocou Fabry-Perot laserových diód ako zdrojov optického žiarenia. Počíta sa aj s variantom s dosahom 20km, ale to skôr v teoretickej rovine, vzhľadom na potrebu kvalitnejších zdrojov optického žiarenia.

Pozn.: Toto tvrdenie sa uvádza v odporúčaní ITU-T. V súčasnosti platí, že existujúce zariadenia ponúkajú dosah až 20km pri deliacom pomere 1:64 a 10km pri pomere 1:128. Dôležitými faktormi sú celkový útlm (možnosť použiť SFP rôznej triedy. Napr. Class B umožní celkový útlm trasy až cca 28dB a Class C+ cca 35dB). Ďalším dôležitým parametrom je aj vzdialenosť kvôli TDMA. Niektorí operátori radi urobia deliaci pomer aj 1/256 a viac. Nakoniec toľko ONT nezapoja, ale majú pokrytú väčšiu oblasť. Keď sa naplní port na OLT, tak len vyhodia splitter na hlavnej stanici a časť zákazníkov pripoja do ďalšieho SFP portu.



Význam to má ten, že kým sa nenaplní port na OLT, tak netreba použiť ďalší port – napr. kupovať ďalšie zariadenie, prípadne rozširujúcu kartu.

V prípade konfigurácie bod-viac bodov (čo je prakticky jediná možnosť využitia) je kvôli prístupu viacerých ONU v smere uplink a kvôli procesu ranging limitovaný dosah systému na 20 km.

G-PON možno použiť pre poskytovanie služieb, kde priemerné oneskorenie prenosu nesmie prekročiť 1,5 ms, čo je postačujúce pre väčšinu civilných aplikácií.

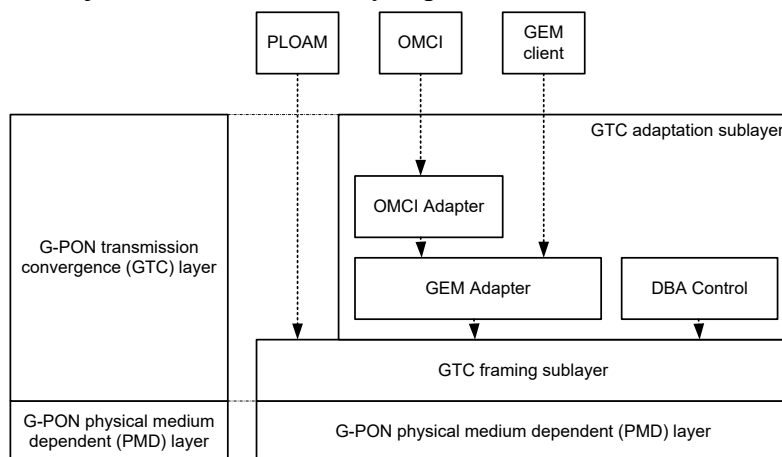
Zabezpečenie plne duplexnej premávky je realizované pomocou vlnovo deleného duplexu (Wavelength-Division Duplex).

Deliaci pomer v pasívnom optickom rozbočovači je prakticky najviac 1:64 (podľa odporúčania, v praxi aj 1:128, prípadne aj viac, ale to sú skôr pokusné laboratórne riešenia), pričom pri návrhu technológie sa pri definovaní rámcov a prístupových procedúr, manažmente a pod. počítalo až z deliacim pomerom 1:128.

## 2.2 Vrstvový model G-PON

V rámci G-PON je definované, akým spôsobom sa môžu/majú prenášať nielen užitočné dáta, ale aj manažmentové a riadiace informácie.

Vo všeobecnosti technológia G-PON definuje dve vrstvy (fyzická a linková), ktoré sa neskôr ďalej môžu deliť do viacerých podvrstiev:



DBA - Dynamic Bandwidth Assignment

GEM - Gigabit-capable passive optical network Encapsulation Method

OMCI - Optical Network Unit Management and Control Interface

PLOAM - Physical Layer Operations, Administrations and Maintenance (OAM)

Pretože je sieť G-PON vytváraná ako sieť so stromovou topológiou, kde existuje logický vzťah bod-viac bodov (point to multipoint), sú pre vzostupný a zostupný smer (uplink a downlink) použité úplne odlišné prístupy k médiu:

- Zostupný smer (downlink) – OLT zasiela údaje viacerým ONU (ONT), t.j. možno použiť časový multiplex – TDM (Time-Division Multiplex).
- Vzostupný smer (uplink) – viacero ONU zasiela informácie jednému OLT, t.j. je použitá metóda viacnásobného prístupu s časovým delením k spoločnému prenosovému médiu – TDMA (Time Division Multiple Access)

Vzhľadom na odlišnosť princípu prenosu v oboch smeroch, bolo potrebné v týchto smeroch zabezpečiť aj rozdielnú funkcionálnosť, čoho následkom sú mnohé odlišnosti na úrovni fyzickej a linkovej vrstvy – rôzne použité vlnové dĺžky, odlišné formáty PDU, ...

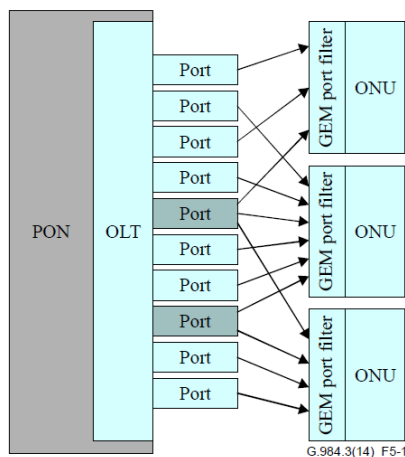
## 2.3 Základy prenosu v zostupnom (downstream) a vzostupnom (upstream) smere

V zostupnom smere je jediným vysielačim prvkom optické linkové zakončenie (OLT), preto je prenos dát relatívne jednoduchý, keďže nemôže dôjsť k žiadnej kolízii, ani nie je potrebné nijakým spôsobom riadiť prístup na prenosové médium.

Princíp prenosu je založený na časovom multiplexe (TDM). OLT vysiela v rôznych časových intervaloch jednotlivé GEM rámce smerom ku ONU. Vďaka tomu, že G-PON využíva pasívnu optickú sieť, všetky ONU prijímajú všetky dáta, ktoré OLT vyslalo. Aby bolo možné odlíšiť dáta pre jednotlivé ONU, používa sa na to číslo portu, ktoré prislúcha konkrétnemu toku GEM rámcov, ktorý je určený pre konkrétne ONU. Každé ONU si z prijímaného toku na základe Port-ID vyberá iba rámce, ktoré sú preň určené.

V prípade, ak sa jedná o šírenie dát multicastom (napr. televízne vysielanie), potom môže byť príjemcom jedného toku GEM rámcov viac ako jedno ONU. Na nasledujúcom obrázku je zobrazený princíp zasielania dát v zostupnom smere.

V princípe je možné, aby jedno ONU prijímalo viacero GEM tokov ako unicastových, tak aj multicastových.

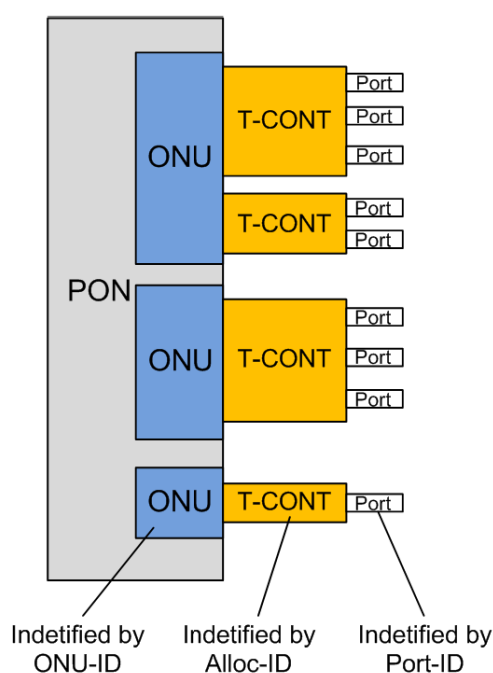


*Prenos dát v zostupnom smere (downstream).  
(Na každom ONU sa nachádza iba jeden optický port, na ktorom je vytvorených viacero logických GEM portov.)*

Vo vzostupnom smere (upstream), je celá situácia prenosu o niečo zložitejšia, pretože k spoločnému prenosovému médiu pristupuje viacero zariadení ONU. V princípe má každé zariadenie iba jedno optické vlákno, ale vo väzobnom člene (splitter) dochádza vo vzostupnom smere k zlúčeniu signálov prichádzajúcich od viacerých ONU smerom k OLT. Z uvedeného dôvodu je potrebné zabezpečiť, aby všetky ONU vysielali svoje dáta v presne stanovenom čase tak, aby keď optický signál dorazí do optického väzobného člena, nedošlo ku kolízii (súčasnemu vysielaniu viac ako jedného ONU).

Presné rozdelenie časových intervalov pre vysielanie ONU je plne v kompetencii OLT. OLT alokuje pre každé ONU jeden časový interval, ktorý zodpovedá jednej alokačnej jednotke (transportný kontajner T-CONT). OLT musí pre každé ONU alokovať najmenej jeden takýto kontajner T-CONT. Identifikácia T-CONT prebieha pomocou identifikátora Alloc-ID. V rámci jedného kontajnera môže existovať viacero GEM tokov rozlíšiteľných pomocou Port-ID.

Kvôli zjednodušeniu alokácie sú viaceré logické toky GEM rámcov (identifikované a rozlíšiteľné pomocou Port-ID) združené do jedného alebo viacerých kontajnerov. Samotná alokácia prebieha pre tieto kontajnery, nie pre jednotlivé GEM toky. Združovaniu GEM tokov nie je ľubovoľné, ale vykonáva sa na základe príbuzných potrieb pre prenos dát a zabezpečenie QoS.



*Prenos dát vo vzostupnom smere*

## 2.4 Identifikátory a terminológia používaná v G-PON

Jednotlivé ONU sú jednoznačne identifikovateľné pomocou 8-bitového identifikátoru **ONU-ID**. ONU-ID je pridelený ONU vo fáze jeho aktivácie pomocou výmeny správ cez PLOAM kanál. ONU-ID zostáva platný až do okamihu deaktivácie ONU (vynútené zo strany OLT) alebo vypnutia ONU, prípadne pri prechode ONU do neaktívneho stavu.

ONU-ID	Designation	Comment
0..253	Assignable	Assigned by OLT at ONU activation; used to identify the sender of an upstream burst or a PLOAMu, and to address PLOAMd.
254	Reserved	Should not be assigned, as it conflicts with the Alloc-ID usage.
255	Broadcast/unassigned	Broadcast address in PLOAMd; unassigned ONU in PLOAMu.

Allocation identifier (**Alloc-ID**) je 12-bitové číslo, ktoré ONU priradzuje OLT. Účelom tohto identifikátora je zjednodušiť proces alokácie časového intervalu, v ktorom môže ONU vysielat' svoje dáta smerom k OLT (upstream). Danému Alloc-ID zodpovedá transportný kontajner T-CONT. Každé ONU získava automaticky (pri aktivácii ONU) prednastavené (default) Alloc-ID, ktoré je čo do hodnoty rovnaké ako jeho ONU-ID. Pre pridelenie prednastaveného Alloc-ID nie je potrebná komunikácia pomocou správ Assign\_Alloc-ID cez PLOAM kanál. Prednastavené Alloc-ID sa využíva najmä na prenos PLOAM a OMCC správ, ale možno ho použiť aj na prenos dát.

Ostatné Alloc-ID môže ONU získať pomocou Assign\_Alloc-ID PLOAM správy.

Poet transportných kontajnerov je pre každú ONU konštantný, pričom k vytvoreniu týchto kontajnerov dochádza pri aktivácii ONU. OLT si pomocou správ OMCC zistí počet vytvorených inštancií T-CONT a potom ich mapuje k Alloc-ID, ktoré boli priradené k ONU.

Identifikátor GEM portu (**GEM Port-ID**) je 12-bitové číslo, ktoré je priradené OLT k jednotlivým logickým spojeniam.

Priradenie Port-ID k logickému kanálu OMCC sa vykonáva pomocou PLOAM správy „Configure\_Port-ID“. Ostatné Port-ID (pre jedno ONU) sa priradujú pomocou OMCC.

V technológii G-PON sa často používa pojem rámec, ktorý môže byť chápaný rôzne v závislosti od konceptu. Problém nastáva v tom, že na 2. vrstve existuje viacero typov rámcov. V princípe rozoznávame tieto rámce:

- Používateľský rámec (User frame) – PDU z vyššej vrstvy (alebo inak service data unit - SDU), ktoré je zapuzdrowané do GEM rámca. Často sa jedná o Ethernetový rámec.
- GEM rámec – PDU podvrstvy vrstvy „GTC framing sublayer“, ktoré pozostáva z 5 bytového GEM záhlavia a informačného poľa s premenlivou dĺžkou.
- Downstream GTC frame – rámec s trvaním 125  $\mu$ s a fixným formátom, ktorý obsahuje GTC záhlavie (PCBd pole) a v informačnom poli zapuzdrený GTC rámec.
- Upstream GTC frame – interval s dĺžkou trvania 125  $\mu$ s, ktorý obsahuje niekoľko dátových zhukov pochádzajúcich od ONU.

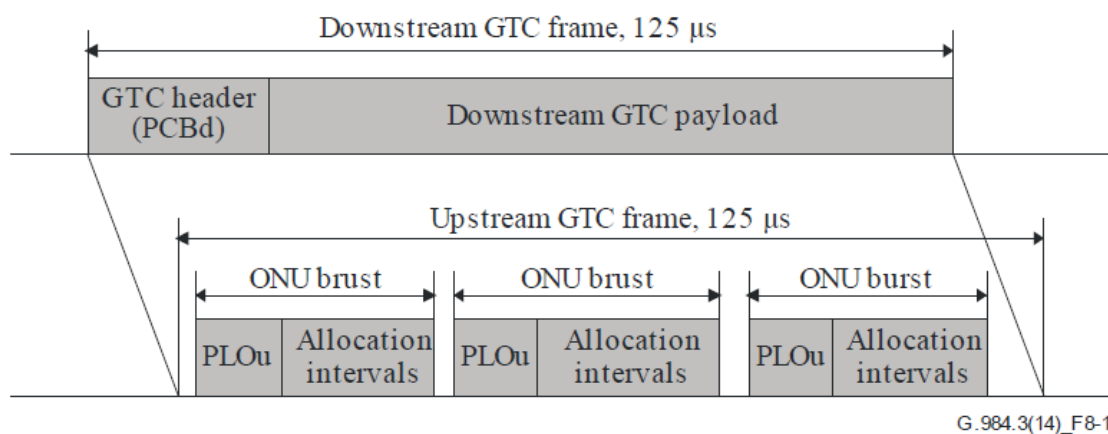
## 2.5 Vytváranie rámcov vrstvou G-PON Transmission Convergence (GTC)

V smere downstream je vytváraný jeden rámec, každých 125  $\mu$ s, pričom rámce v smere downstream nasledujú jeden za druhým, bez akéhokoľvek prerušenia dátového toku. Každý rámec obsahuje záhlavie „**Physical Control Block downstream**“ (PCBd), za ktorým nasleduje informačné pole obsahujúce napr. GEM rámce.

Rámec v smere upstream obsahuje niekoľko zhukov pochádzajúcich od jednotlivých ONU. Každý zhuk obsahuje záhlavie „**Physical Layer Overhead**“ (PLOu) a následne jeden alebo viac alokovaných intervalov, ktoré sú asociované s príslušnými Alloc-ID.

Pozn.: GTC rámec v smere downstream je čisto kontinuálny, t.j. nedochádza k prerušeniu vysielania čo i len na dobu jedného bitu. V smere upstream obsahuje GTC rámec zhuky, ktoré sú oddelené krátkymi časovými intervalmi. Z uvedeného dôvodu je analýza upstream GTC rámca komplikovaná, pretože je potrebné mať špecializované zariadenie na PON siete, ktoré sa zapája ako transparentné zariadenie do optickej siete, t.j. signály ním prechádzajú v podstate transparentne. Tester musí byť schopný zaznamenávať komunikáciu ako v smere upstream, tak aj downstream a vyhodnocovať ju.

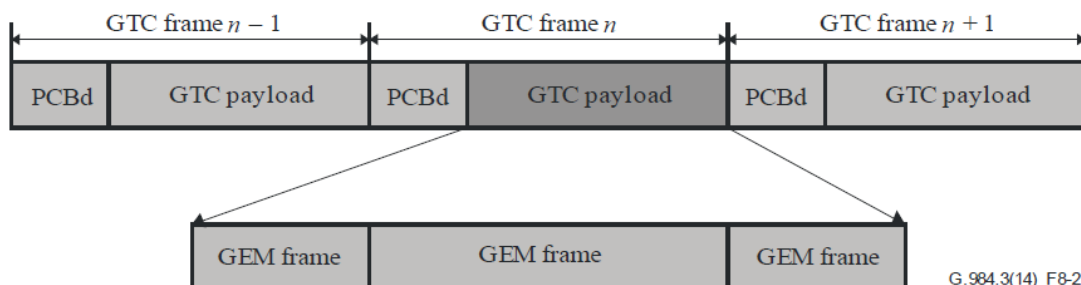
Downstream rámec umožňuje synchronizovať ONU a súčasne obsahuje prostriedky pre riadenie prístupu ONU k prenosovému médiu (definuje časy, kedy môže príslušné ONU vysielat').



*Upstream a downstream rámce vytvárané vrstvou GTC*

### 2.5.1 Štruktúra downstream GTC rámca

Doba trvania downstream rámca je 125 μs, pričom pri prenosovej rýchlosti 2.48832 Gbit/s pozostáva z 38880 bajtov. Dĺžka záhlavia PCBd je premenlivá a závisí od počtu alokačných štruktúr v rámci.



*GTC rámce v smere downstream*

GTC rámec je pred odvysielaním skramblovaný, pričom použitý polynóm je  $x^7 + x^6 + 1$ .

Záhlavie PCBd - Physical Control Block downstream – obsahuje viacero polí, ktoré sú popísané nižšie. Všetky ONU vyhodnocujú záhlavie prijímaného downstream rámca a riadia sa inštrukciami v ňom obsiahnutými.

### 2.5.2 Štruktúra upstream GTC rámca

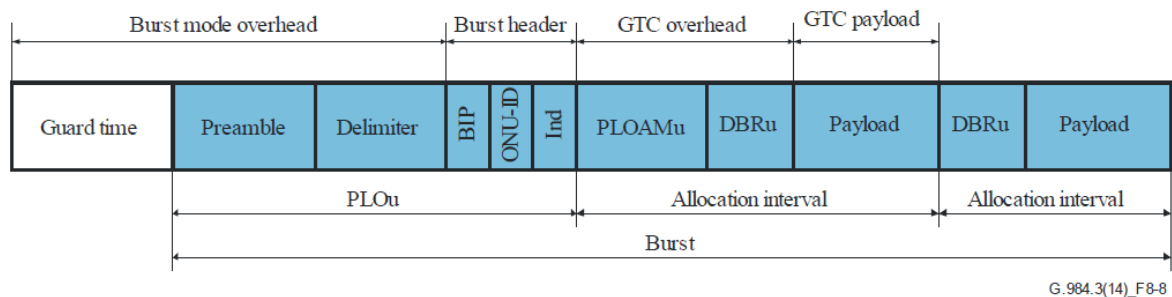
Dĺžka trvania rámca je 125 μs, pričom samotný rámec nie je jeden celok, ale pozostáva z viacerých zhlukov. Každý zo zhlukov obsahuje upstream Physical Layer Overhead (PLOu) sekcii a jeden alebo viac alokačných intervalov.

Každý alokačný interval môže obsahovať dva typy polí GTC záhlavia:

- upstream physical layer operations, administration and management (PLOAMu) správu (iba default Alloc-ID);

- upstream dynamic bandwidth report (DBRu)

OLT používa flagy pre určenie, ktoré z dvoch horeuvedených záhlaví (PLOAMu, DBRu) sa v GTC rámci sa môžu nachádzať. Záhlavie PLOAMu sa môže nachádzať iba v alokačnom intervale priradenom k prednastavenému Alloc-ID pre dané ONU.



*Detail štruktúry záhlavia fyzickej a GTC vrstvy pre smer upstream*

Každý zhluk začína sekciou „Physical Layer Overhead upstream“ (PLOu), ktorá pozostáva z preamble, delimitera a trojbajtového záhlavia zhluku (Burst Header). Ešte pred odvysielaním zhluku, musí ONU čakať určitý čas, ktorý slúži ako ochranný čas pre zabránenie kolízie. Toto je nutné, pretože nie je technicky možné zabezpečiť, aby bez použitia ochranných časových intervalov nedochádzalo ku kolíziám od dvoch ONU vysielajúcich tesne po sebe.

V prípade, že ONU vysielá dva alebo viac zhlukov tesne po sebe, t.j. stop čas jedného zhluku je o jednotku (jeden bajt) menší ako štart čas nasledujúceho zhluku (vysielaného tým istým ONU), potom nie je nutné pred vysielaním dať alokačného intervalu vyslať sekciu PLOu.

Ak by ale ONU potrebovalo vyslať dáta patriace do najmenej dvoch alokačných intervalov, pričom tieto by nenasledovali hneď po sebe, potom sú vyslané ako separátne zhluky aj s PLOu sekciou v každom zhluku zvlášť. Inak povedané, PLOu sekcia je poslaná na začiatku každého zhluku.

Za záhlaviami GTC vrstvy (PLOAMu, DBRu) sa vysielajú (užitočné) dáta, ktoré sú vysielané až do doby skončenia alokačného intervalu.

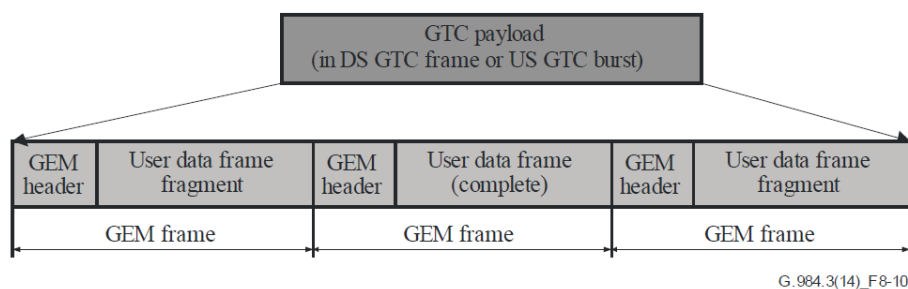
Predpokladajme, že by sa v alokačnom intervale prenášala najkratšia možná správa, t.j. DBRu správa. Vzhľadom na to, že minimálna veľkosť poľa DBRu je 2 bajty, tak pri neexistencii užitočných dát a taktiež PLOAMu poľa bude platiť, že čas ukončenia vysielania musí byť vždy najmenej o 2 bajty neskorší ako čas začiatku vysielania alokačného intervalu.

Upstream tok je samozrejme tiež skremblovaný, pričom je použitý polynóm  $x^7 + x^6 + 1$ .

## 2.6 Mapovanie GEM rámcov do informačného poľa GTC rámca

Dátová premávka je prenášaná pomocou GEM rámcov transparentne. GEM protokol plní iba dve kľúčové úlohy:

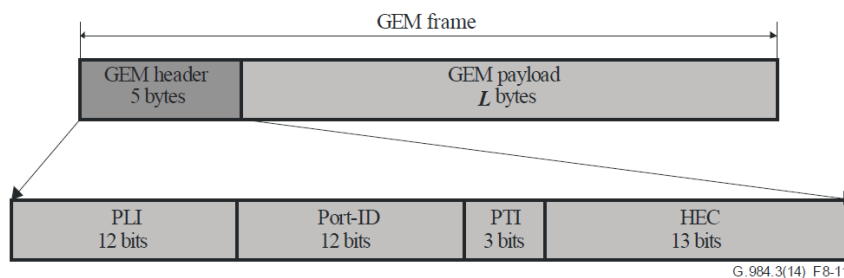
- Fragmentáciu a defragmentáciu rámcov s dátami
- Identifikácia rôznych dátových tokov a ich multiplexovanie a demultiplexovanie



### *Mapovanie GEM rámcov do informačného poľa (payload) GTC rámcu*

Formát GEM rámcu je zobrazený na nasledujúcom obrázku. Záhlavie GEM rámcu obsahuje tieto polia:

- Payload length indicator (PLI) – určuje koľko bajtov je v informačnom poli GEM rámcu. Keďže je známa dĺžka záhlavia (5 bajtov) a taktiež dĺžka informačného poľa, možno presne určiť koniec GEM rámcu. Nasledujúci GEM rámec začína nasledujúcim bajtom ako končí predošlý GEM rámec. Vzhľadom na dĺžku poľa PTI 12 bitov je limitovaná veľkosť informačného poľa GEM rámcu na max. 4095 bajtov.
- Port-ID – jednoznačne identifikuje špecifický tok GEM rámcov. Keďže v jednom T-CONT môže byť viacero GEM tokov, potom aj v rámci jedného T-CONT môže existovať viacero Port-ID identifikátorov.
- Payload type indicator (PTI) – určuje aký typ informácie sa prenáša v GEM rámci. Kvôli detailom pozri tabuľku nižšie.
- Header Error Check (HEC) – obsahuje kontrolnú sumu vypočítanú pomocou BCH kódu.



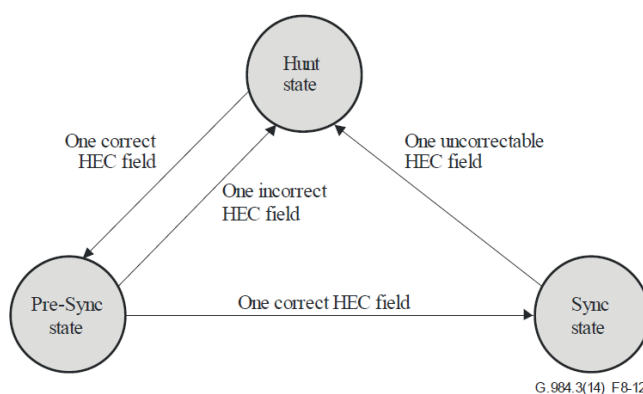
### *Formát GEM rámcu*

PTI code	Meaning
000	User data fragment, not the end of a frame
001	User data fragment, end of a frame
010	Reserved
011	Reserved
100	GEM OAM, not the end of a frame
101	GEM OAM, end of a frame
110	Reserved
111	Reserved

## 2.7 Rámcová synchronizácia GEM rámcov a určovanie začiatku a konca GEM rámcov

Informačné pole každého GTC rámcu obsahuje na začiatku nový GEM rámec. Tým pádom prijímač nájde prvý GEM rámec. Vďaka tomu, že v poli PLI je uvedená dĺžka informačného poľa GEM rámcu, tak si prijímač jednoducho spočíta, kde nasleduje ďalší GEM rámec.

V prípade, ak sa vyskytnú bitové chyby, tak tento mechanizmus zlyhá. V takomto prípade používa prijímač pre nájdenie začiatku rámcu stavový automat podľa obrázku. V Hunt stave sa prijímač snaží nájsť začiatok rámcu tým, že prepočítava pole HEC a porovnáva ho s domnelým prijatým poľom HEC. Tento proces vykonáva tak, že sa v správe posúva bajt po bajte.



Určenie začiatku a konca GEM rámcu – stavový diagram

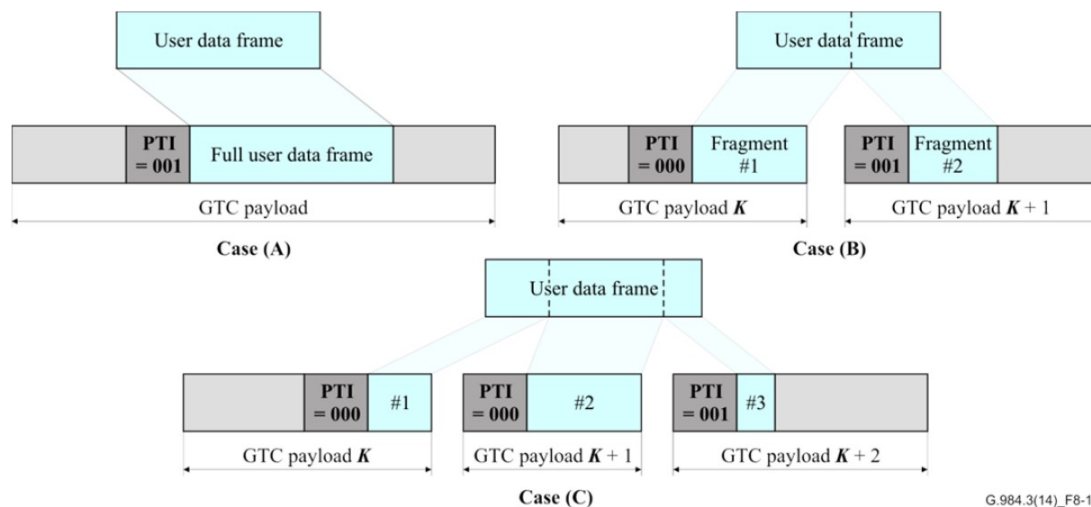
V prípade, že sa neprenášajú žiadne dáta alebo je dát menej ako je dĺžka GTC rámcu, je potrebné kvôli udržaniu synchronizácie zasielať prázdné GEM rámce. Prázdny GEM rámec obsahuje vo svojom záhlaví samé nuly. Vďaka operácii XOR nad vysielanými dátami sa vynulované záhlavie prejavuje ako sekvencia bajtov 0xB6AB31E055.

## 2.8 Fragmentácia používateľských rámcov

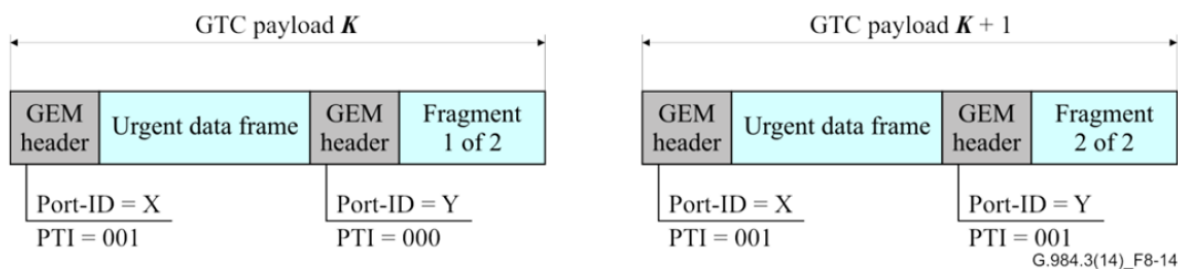
Aby bolo možné na začiatku informačného poľa každého GTC rámcu mať nový GEM rámec, je potrebné fragmentovať používateľské rámce. Pre určenie toho, či je daný GEM



rámec fragment, alebo nie, sa využíva pole záhlavia GEM rámca s názvom PTI. Pole PTI určuje, či sa jedná o posledný fragment.



*Fragmentácia používateľských rámcov do GEM rámca*

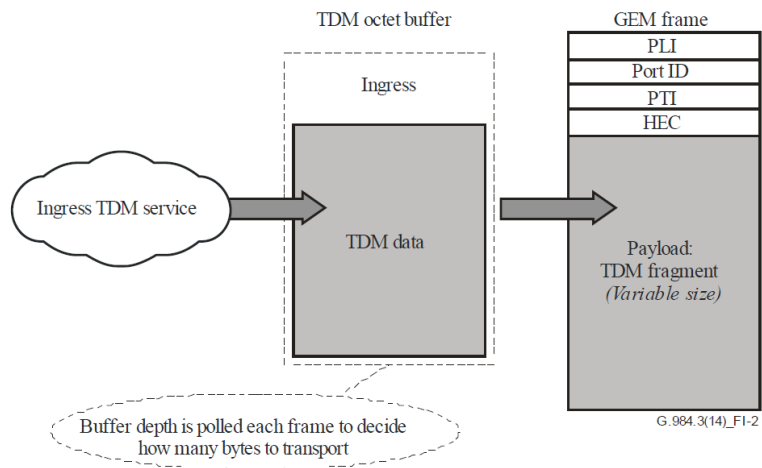


*Prenos urgentných dát v GEM rámcoch*

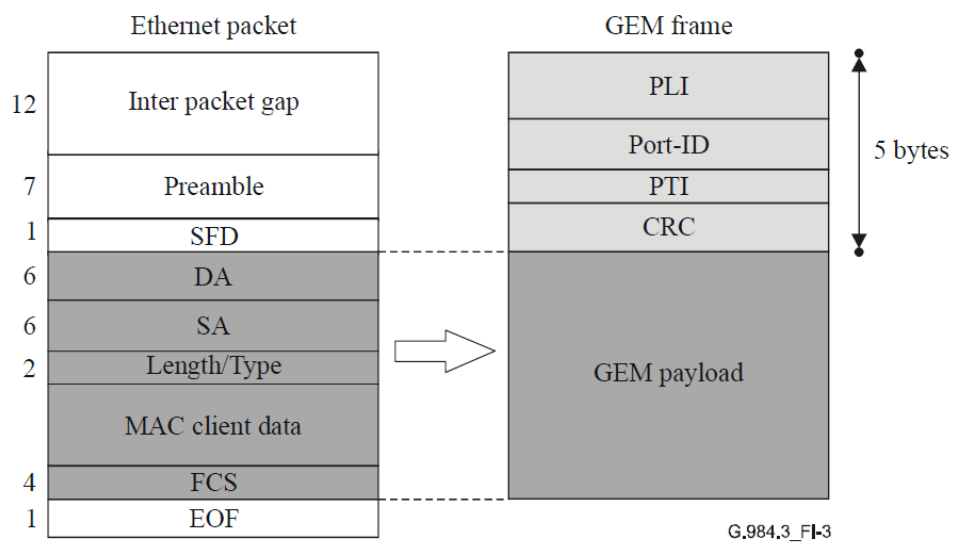
## 2.9 Mapovanie používateľských rámcov a dát do GEM rámcov

Do GEM rámcov možno mapovať najrôznejšie dáta a rámce:

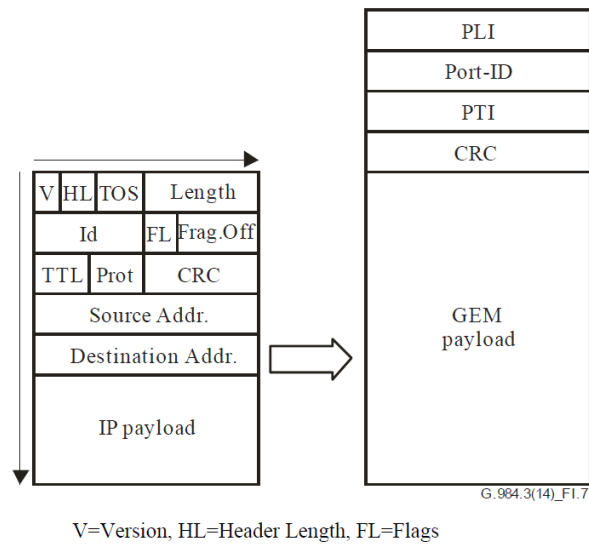
- TDM rečové vzorky
- Ethernetové rámce
- IP pakety
- MPLS rámce
- ATM bunky – táto možnosť už nie je podporovaná, pričom v minulosti existovala



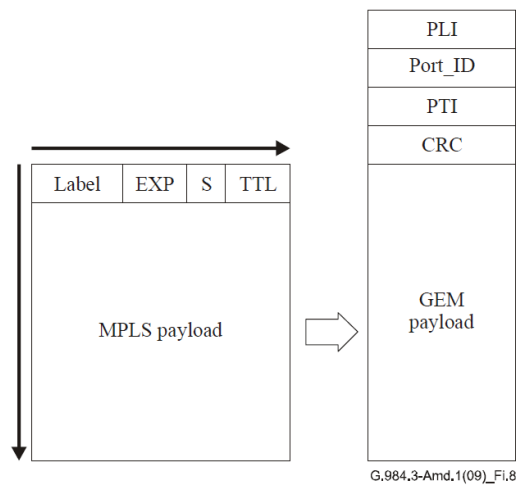
*Mapovanie rečových vzoriek do GEM rámca*



*Mapovanie Ethernetového rámca do GEM rámca*



### Mapovanie IPv4 paketu do GEM rámca



Label: Label value, EXP: Experimental use, S: Bottom of stack

**Figure I.8 – Frame structure for MPLS mapping into the GEM frame**

### Mapovanie MPLS rámca do GEM rámca

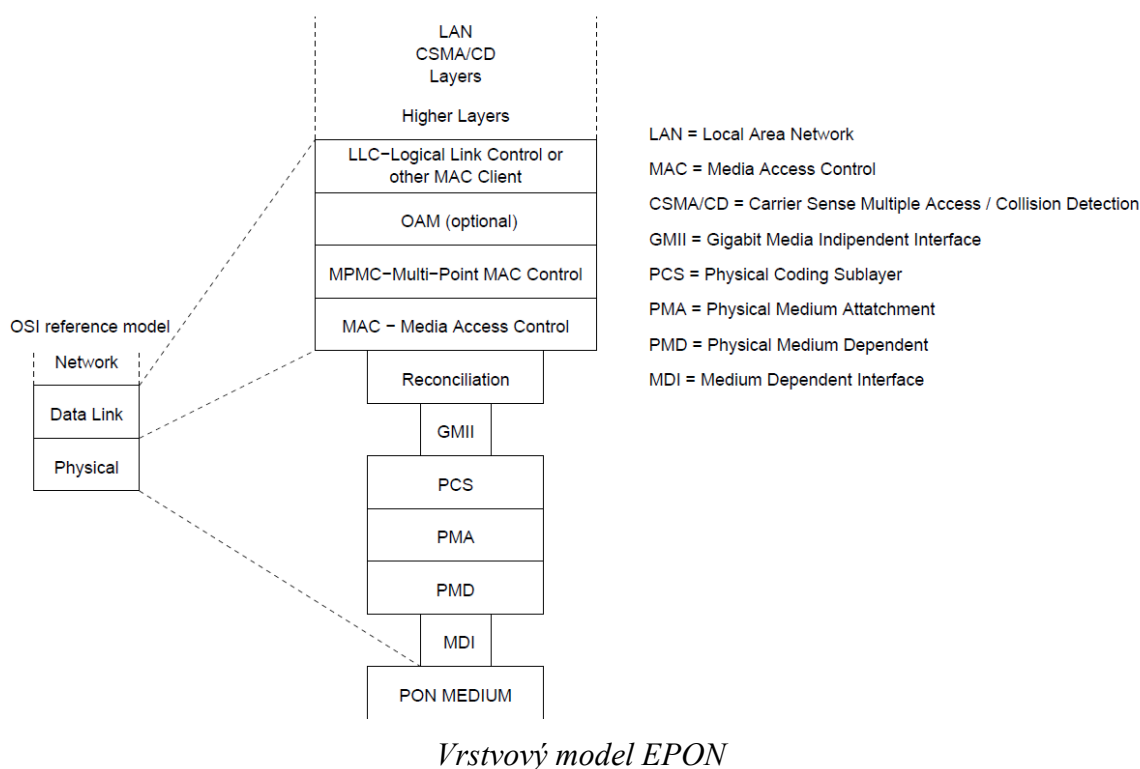
### 3 EPON – Ethernet Passive Optical Network

Technológia je popísaná v štandarde “Ethernet over Passive Optical Networks” (IEEE 802.3ah). Tento štandard je rozšírením IEEE 802.3, ktorý definuje vlastnosti Ethernetu.

Štandard IEEE 802.3ah v súčasnosti popisuje štyri varianty EPON, ktoré využívajú topológiu bod-viac bodov a prenosovú rýchlosť 1Gb/s:

- 1000BASE-PX10 definovaný v IEEE Std 802.3ah-2004 s garantovaným dosahom 10 km pri deliacom pomere 1:16.
- 1000BASE-PX20 definovaný v IEEE Std 802.3ah-2004 s garantovaným dosahom 20 km pri deliacom pomere 1:16.
- 1000BASE-PX30 definovaný v IEEE Std 802.3bk-2013 s garantovaným dosahom 20 km pri deliacom pomere 1:32.
- 1000BASE-PX40 definovaný v IEEE Std 802.3bk-2013 s garantovaným dosahom 20 km pri deliacom pomere 1:64.

Oproti klasickému Ethernetu, je potrebné pri EPON vyriešiť problém s topológiou “Point-to-Multi-Point”, pretože klasický Ethernet počíta iba s topológiou “Point-to-Point”. Preto bola do vrstvového modelu pridaná vrstva “Multi-Point-MAC-Control” (MPMC).



V modeli možno nájsť podvrstvy “Logical Link Control” (LLC), “Medium Access Control” (MAC) a “Multi-Point-MAC-Control” (MPMC), ktoré sú súčasťou linkovej vrstvy. Ďalej “Reconciliation” (RS), “Physical-Coding-Sub-layer” (PCS), “Physical-Medium-Attachment” layer (PMA), a “Physical-Medium-Dependent” layer (PMD), ktoré sú súčasťou fyzickej vrstvy. Podvrstvy “Gigabit-Medium-Independent-Interface” (GMII) and “Medium-Dependent-

Interface” (MDI) sú rozhrania, ktoré slúžia na prepojenie s inými vrstvami alebo prenosovým médiom. Uvedená protokolová halda je implementovaná ako v ONU, tak aj v OLT, pričom implementácia v OLT sa líši od implementácie v ONU.

EPON podporuje iba jednomódové optické vlákno. EPON využíva podobne ako GE kódovanie 8B10, ktoré zabezpečuje dobré štatistické vlastnosti signálu, ako aj zjednodušuje proces bitovej synchronizácie. Nevýhodou tohto prístupu je fakt, že prenosová rýchlosť vzrastá o 25%.

### *Fyzické vlastnosti PMD*

Description	1000BASE-PX-10U	1000BASE-PX-10D	1000BASE-PX-20U	1000BASE-PX-20D
Nominal transmit wavelength	1310 nm	1490 nm	1310 nm	1490 nm
Transmit direction	Upstream	Downstream	Upstream	Downstream
Range	0.5 m - 10 km		0.5 m - 20 km	

MAC podvrstva má za úlohu vytvárať rámce, adresovať, detegovať chyby v rámcoch a riadiť prístup k médiu. Táto funkcionálna je rovnaká na strane ONU aj OLT, ale s tým rozdielom, že OLT vytvára viacero inštancií (pre každé ONU jednu), zatiaľ čo ONU vystačí s jednou inštanciou. Pre zasielanie broadcastov, je na strane OLT rezervovaná MAC adresa. Rámce zaslané na túto broadcastovú adresu je preposlaný smerom všetkým ONU. Tento typ broadcastu sa nazýva “Single Copy Broadcast” (SCB).

Podvrstva MPCP vie spracovať niekoľko MAC inštancií (pozri nasledujúci obr.). Každá z MAC inštancií je identifikovateľná pomocou “Logical Link Identifier” (LLID). Rámce sú jednoznačne identifikovateľné pomocou LLID, t.j. každé ONU alebo OLT označuje svoje rámce pomocou príslušného LLID. Ak je LLID známe, tak ho OLT alebo ONU akceptuje, inak ho zahadzuje.

Celá inteligencia EPON je skrytá v podvrstve MPCP, pričom na strane OLT zabezpečuje dynamické pridelenie pásma pomocou rezervovania časových intervalov pre smer upstream. Podobne ONU nahlasuje stav zahltenia čakacích radov.

Každé ONU môže mať pridelených viacero LLID, pričom pre každé je definovaný extre front.

## **3.1 Rámce v EPON**

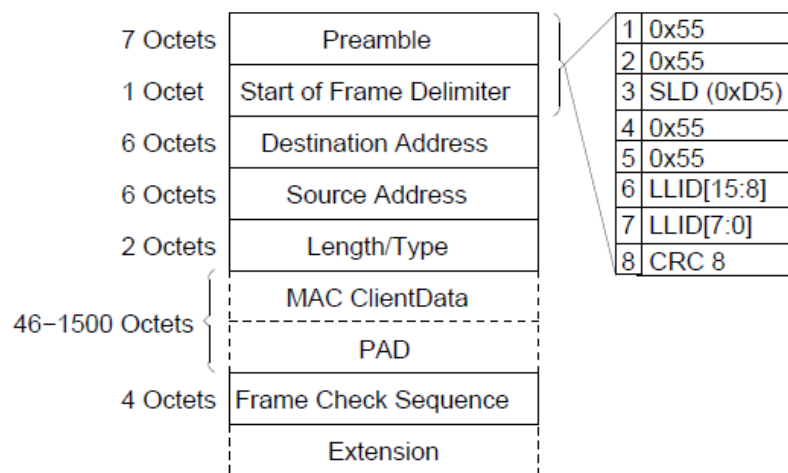
V EPON rozoznávame dva základné typy rámcov:

- Dátové rámce – MAC rámce
- Riadiace rámce – MPCPDU rámce

Medzi ONT a OLT sa v oboch smeroch prenášajú tzv. riadiace správy, ktorých význam je podobný ako pri PLOAM správach v GPON. Rozoznávajú sa dva druhy riadiacich správ:

- Report správy – ONU -> OLT, informovanie o aktuálnom stave ONU, ...
- Gate správy – OLT -> ONU, riadenie prístupu ONU na prenosové médium

Pre prenos užitočných informácií je definovaný MAC rámec, ktorého štruktúra je zobrazená na obr. nižšie.



*Štruktúra MAC rámca*

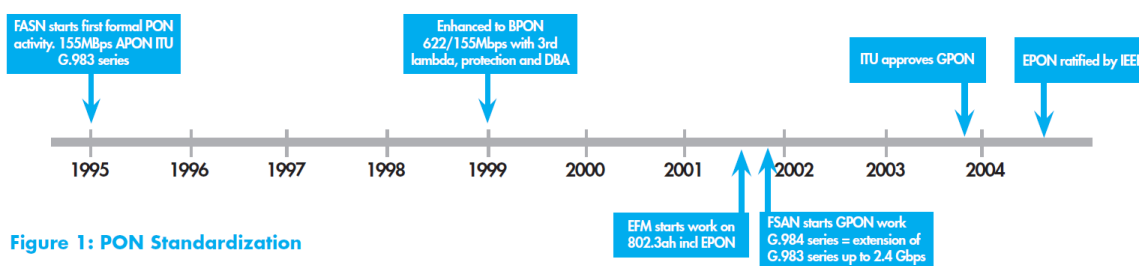
V štandardnom Ethernetovom rámci je v jeho záhlaví Preambula a “Start of Frame Delimiter” (SFD) pozostávajúce z 8 bajtov dohromady.

V technológii EPON je štandardná MAC podvrstva rozšírená o podvrstvu MPCP. Podvrstva MPCP umožňuje prevádzkovať viaceré MAC inštancie rozlíšiteľné pomocou LLID. Na základe toho je štandardná preambula a SFD pozmenená tak, aby obsahovala LLID. Okrem samotného poľa LLID je vložené aj pole SLD “Start of LLID delimiter” a taktiež pole CRC kvôli kontrole bitovej chybovosti v bajtoch 3 až 7.

Pri komunikácii pomocou rámcov sa sleduje LLID. ONU akceptuje iba ten rámec, ktorý je označený takým identifikátorom LLID, ktorý ONU používa. Podobne OLT spracováva iba tie rámce, ktorých LLID pozná, pričom o spracovanie príslušného rámca sa stará tá MAC inštancia, ktorá spracováva rámce s príslušným LLID.

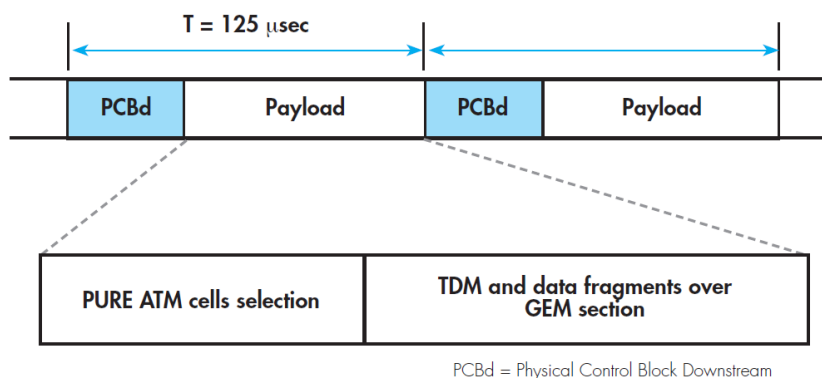
## 4 Porovnanie technológií GPON a EPON

Obidve spomínané technológie sú si veľmi podobné, čo do princípov fungovania ako aj ceny zariadení. V minulosti bola operátormi preferovaná technológia GPON, najmä kvôli jej väčšej vyzretosti a flexibilitě. Vzhľadom na to, že väčšina premávky v PON sieti pochádza od zariadení s Ethernetovými rozhraniami, v súčasnosti začína byť zaujímavá aj technológia EPON, ktorej výhodou je mierne nižšia cena (cca 10-20%), ale nevýhodou je približne polovičný deliaci pomer maximálne 1:64 pre EPON v porovnaní s maximom pre GPON 1:128.

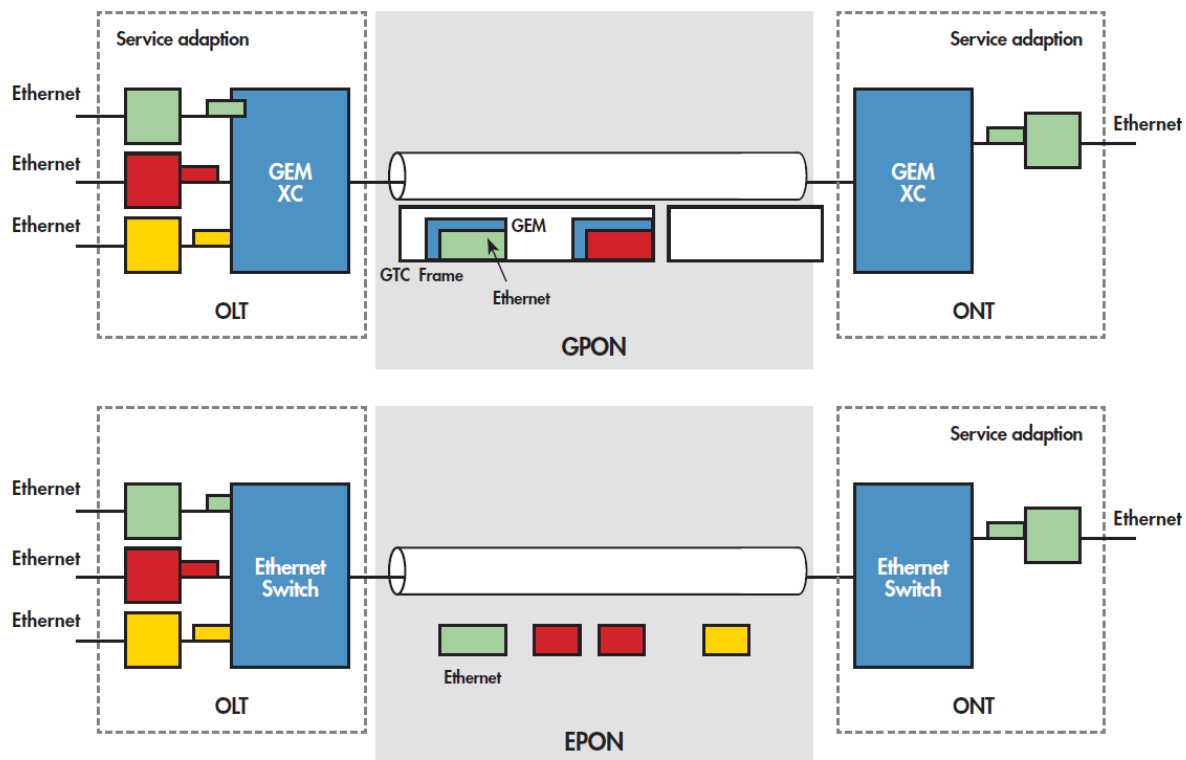


### *Historický pohľad na vývoj jednotlivých technológií*

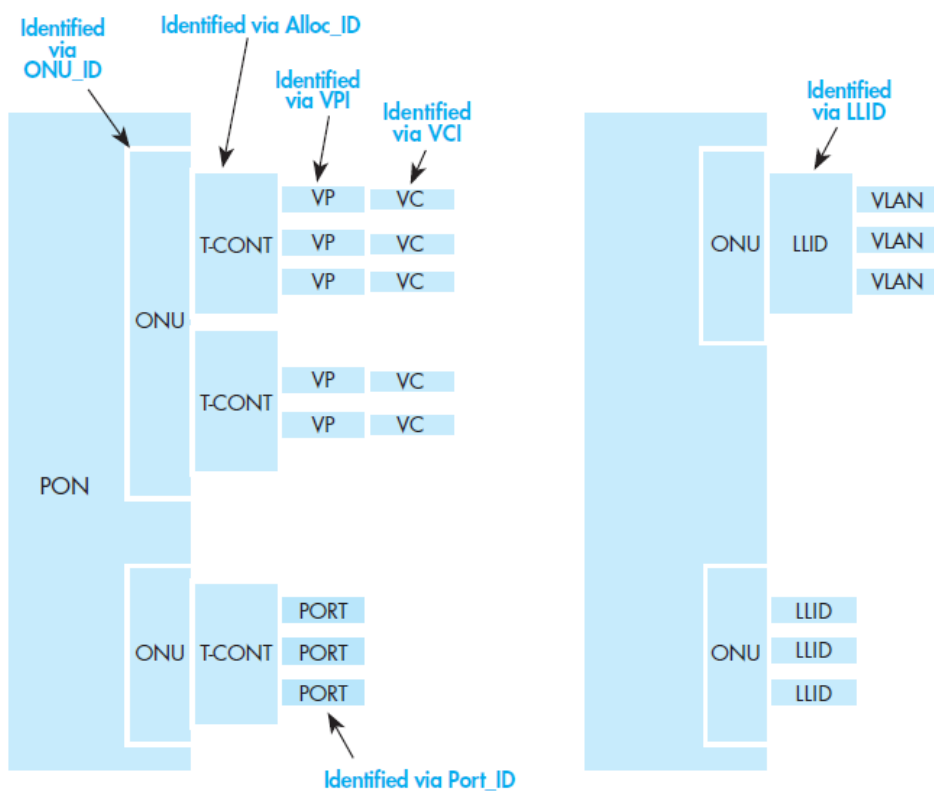
Z hľadiska protokolovej sady je EPON jednoduchšia technológia pretože používa pre prenos modifikované Ethernetové rámce. Technológia GPON využíva vlastné GEM rámce, do ktorých sa zapuzdrujú rôzne typy prevádzkových tokov. GPON využíva taktiež GTC rámce, ktorých doba trvania je 125µs, čo je doba zhodná so synchronnými systémami ako je PDH a SDH. Samotná enkapsulácia do GFC rámcov je podobná Generic Frame Procedure (ITU-T G.7401).



### *Naznačenie rámcovanie v GPON*

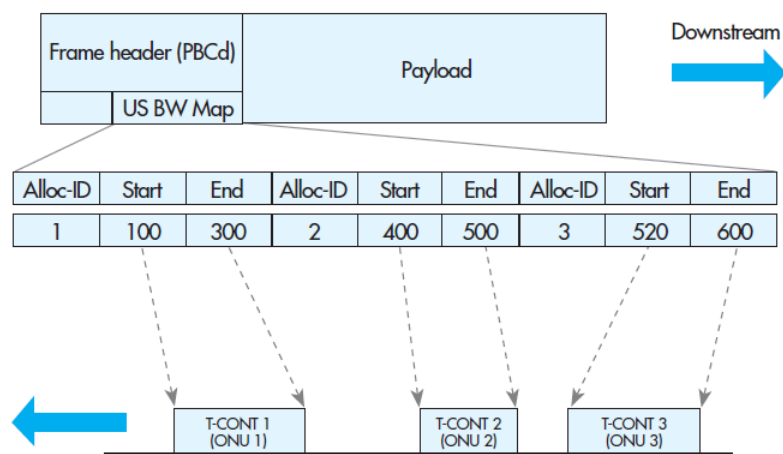


Porovnanie rámcovanie v GPON a v EPON

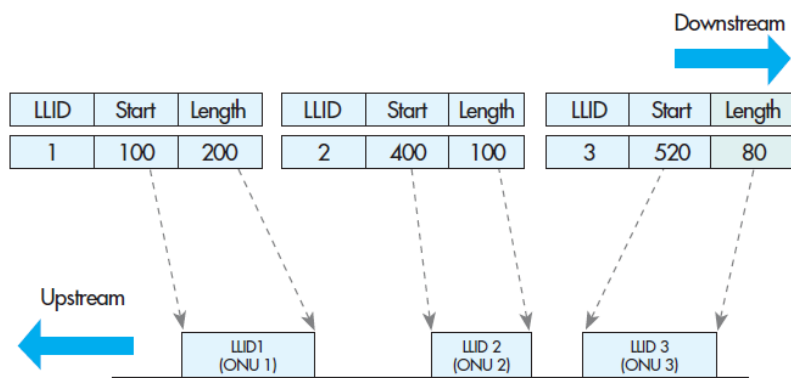


Porovnanie hierarchie v GPON a EPON (podpora prenosu ATM v súčasnosti už v štandarde neexistuje)





*Alokácia uplinku pri GPON*



*Alokácia uplinku pre EPON*

Šifrovanie v smere downstream. Obidve technológie podporujú šifrovanie v smere downstream pomocou šifry AES-128bit. V smere upstream sa šifrovanie nevykonáva, lebo sa to považuje za nepotrebné.

GPON podporuje prenosové rýchlosti cca 2,448Gb/s pre downstream a 1,244Gb/s pre upstream. EPON podporuje 1,25Gb/s (1Gb/s pred kódovaním 8B10B) v oboch smeroch.

Využitie šírky pásma určuje aká časť z celkového pásma je využitá na prenos užitočných informácií, t.j. neslúži na prenos riadiacich informácií a záhlaví rámcov. Efektivita EPON sa pohybuje od cca 97% do 90% v smere upstream a cca 98% v smere downstream. Efektivita GPON je cca 95%.

Z hľadiska podpory služieb a funkcií Ethernetu platí, že štandard EPON je v podstate iná verzia Ethernetu, a preto má plnú a natívnu podporu všetkých vlastností definovaných v rade noriem 802.1 a 802.3 ako sú napr. VLAN značky, OAM a pod. EPON je v podstate len inou verziou Ethernetu prispôbenou pre PON sieť.

Technológia GPON iba poskytuje prostriedky na transport Ethernetových rámcov. Niektorí výrobcovia integrujú do OLT aj funkcionality prepínačov, takže súhrn podporovaných funkcií je závislý na konkrétnej implementácii (výrobci, modeli a verzii systému).

Z hľadiska bridgingu je EPON plne kompatibilný s Ethernetom, ale GPON-u takáto funkcionálnosť z princípu nevyplýva. Ak je potrebné zabezpečiť bridgovanie, potom musí byť k GPON OLT pridaný switch, prípadne tento switch výrobca integruje priamo do OLT.

## 5 Konfiguračný súbor GPON OLT

V texte nižšie je uvedená konfigurácia GPON OLT ISCOM5508 od fy. Raisecom.

```
!Software Version ISCOM5508-GPSC_ROAP_2.41.1_20150514
!command in config_first_mode
create vlan 230-233 active
create policing-profile 1 name Policy1
policing-profile 1 cir 1024 pir 4096 cbs 100 pbs 500
!Vytvorenie profilu pre vybraný typ služby (prístup do Internetu), ktorý umožňuje
dynamické pridelovanie šírky pásma. Profil sa nazýva Data 1 a využíva T-CONT typ 3
a garantuje prenosovú rýchlosť 2000 kb/s, ktorú možno v prípade potreby navýšiť na
max 3000 Mb/s.
create dba-profile 2 name Data1 type3 assure 2000 max 3000
create dba-profile 3 name Data2 type3 assure 4000 max 6400
!
!command in enable_mode
!
!command in mstp_region_mode
!
!command in vlan_mode
!
!command in l2_acl_mode
!
!command in ip_acl_mode
!
!command in ipv6_acl_mode
!
!command in hybrid_acl_mode
!
!command in ipv6_hybrid_acl_mode
!
!command in user_acl_mode
!
!command in qinq_acl_mode
!
!command in port_channel_mode
!
!Konfigurácia portov pre pripojenie do chrbticovej siete.
!command in gigabitethernet_mode
interface gigabitethernet 1/1
mac-address-table station move
switchport trunk allowed vlan 230-233
switchport trunk untagged vlan remove 1
switchport mode trunk
quit
interface gigabitethernet 1/2
mac-address-table station move
switchport access vlan 230
quit
interface gigabitethernet 1/3
mac-address-table station move
quit
interface gigabitethernet 1/4
mac-address-table station move
quit
!
!command in ten-gigabitethernet_mode
interface ten-gigabitethernet 1/5
mac-address-table station move
quit
interface ten-gigabitethernet 1/6
mac-address-table station move
quit
!
```

```

!Konfigurácia adresy kvôli manžmentu OLT
!command in interface vlanif_mode
interface vlanif 230
ip address 192.168.230.2 255.255.255.0
quit
!
!
!Vytvorenie profilu GPON linky č. 1
!command in gpon-onu-line-profile_mode
gpon-onu-line-profile 1
!Vytvorenie prvého T-CONT a jeho naviazanie na profil služby č. 3
create tcont 1 dba-profile 3
!vytvorenie prvého gem portu a jeho naviazanie na predtým vytvorený T-CONT
s indexom 1
create gem 1 tcont 1
commit
!Mapovanie vytvoreného prvého gem portu na príslušnú VLAN
gem 1 mapping 1 vlan 231
commit
quit
!
!Vytvorenie profilu služieb ONU, ktoré má iba jeden ethernetový port na strane
k zákazníkovi a jeho mapovanie na príslušnú VLAN
!command in gpon-onu-service-profile_mode
gpon-onu-service-profile 1
port-num ethernet 1
!Port 1 na ONU bude accessový a bude patriť do VLAN 231. Keďže je port accessový, tak bude pracovať s rámcami bez
značiek.
uni ethernet 1 vlan mode tagged
uni ethernet 1 native vlan 231
commit
quit
!
!Vytvorenie profilu služieb ONU, ktoré má štyri porty na strane k zákazníkovi a ich
mapovanie na príslušné VLAN
gpon-onu-service-profile 2
port-num ethernet 4 pots 2
uni ethernet 1 vlan mode tagged
uni ethernet 1 native vlan 231
uni ethernet 2 vlan mode tagged
uni ethernet 2 native vlan 231
uni ethernet 3 vlan mode tagged
uni ethernet 3 native vlan 231
uni ethernet 4 vlan mode tagged
uni ethernet 4 native vlan 231
commit
quit
!
!command in snmp-trap-gpon-olt-profile_mode
!
!command in gpon-onu-snmp-trap-profile_mode
!
!Konfigurácia portu na OLT
!command in gpon-olt_mode
interface gpon-olt 1/1
transceiver ddm enable
!Konfigurácia jednotlivých ONU podľa ich sériového čísla
create gpon-onu 1 sn 52434D470F080026 line-profile-id 1 service-profile-id 1
create gpon-onu 2 sn 43494747A0813517 line-profile-id 1 service-profile-id 2
switchport trunk allowed vlan 230-233
switchport trunk untagged vlan remove 1
switchport mode trunk
quit
!
!command in interface-gpon-onu_mode
!
!command in gpon-onu_mode
!

```

```
!command in interface loopback_mode
!  
!command in keychain_mode
!  
!command in config_mode  
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.230.1  
!  
!command in hide_mode  
!
```

## 6 Literatúra

- [1] Vaculík, M.: Prístupové siete, 2000, ISBN 80-7110-706-4
- [2] Odporúčanie ITU-T G.984.1
- [3] Odporúčanie ITU-T G.984.2
- [4] Odporúčanie ITU-T G.984.3
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet\\_in\\_the\\_first\\_mile#Passive\\_optical\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_in_the_first_mile#Passive_optical_network)
  
- [] Iné verejne dostupné a neverejné zdroje