

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická

Diplomová práce

2014

Bc. Radomír Hendrych

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

Testování triple play služeb v sítích GPON

Diplomová práce

Autor:

Bc. Radomír Hendrych

Vedoucí práce:

Ing. Pavel Lafata, PhD.

květen 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 12. května 2014

.....

Anotace

Diplomová práce se zabývá problematikou pasivních optických přístupových sítí. Cílem práce je shrnutí poznatků v oblasti pasivních optických sítí a to zejména u varianty GPON a XGPON. Praktická část práce se zabývá konfigurací jednotlivých komponent dostupných v laboratoři katedry telekomunikační techniky. Praktický návrh topologie je uzpůsoben tak, aby bylo možné poskytovat koncovým zákazníkům triple play služby. Nastavené služby jsou testovány pomocí zařízení dostupných v akademickém prostředí.

Klíčová slova: Pasivní optické sítě, GPON, XGPON, přístupové sítě, triple play služby

Summary

Master thesis deals with the problem of passive optical access networks. The aim is to summarize knowledge in the field of passive optical networks, especially in variants GPON and XGPON. The practical part of this thesis deals with the configuration of individual components available in the laboratory of the department of telecommunications. The design is adapted in order to provide end customers triple play services. These services are tested using equipment available in the academic environment.

Index Terms: Passive optical networks, GPON, XGPON, access networks, triple play services

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlu Lafatovi, PhD. za pomoc se zpracováním problematiky a cenné rady při sepisování této práce.

Obsah

Seznam zkratek	1
1 Úvod	4
2 Architektura	5
2.1 Dělení FTTx	5
2.2 Pasivní optické sítě	6
2.3 Základní stavební prvky pasivní optické sítě	6
2.4 Optická vlákna	7
2.4.1 Ztráty ve vláknech	7
2.5 Typ multiplexace	9
2.6 Topologie	9
2.7 Návrh pasivní optické přístupové sítě	10
2.8 Komerčně dostupné varianty	11
2.8.1 EPON	12
2.8.2 10GEPON	12
3 GPON	13
3.1 Přenosové parametry na fyzické vrstvě	13
3.1.1 Měření doby zpoždění	14
3.1.2 Útlumová bilance	15
3.2 Vlastnosti GTC vrstvy	16
3.2.1 Dynamické přidělování kapacity	17
3.2.2 Časový multiplex u GPON	18
3.3 Struktura rámců	19
3.3.1 Sestupný směr	19
3.3.2 Vzestupný směr	20
3.3.3 Metoda zapouzdřování GEM	21
3.4 FEC v GPON technologii	22
4 XGPON	23
4.1 Parametry na fyzické vrstvě	23
4.2 Vlastnosti XGTC vrstvy	24
4.2.1 XGTC servisní adaptační vrstva	24
4.2.2 XGTC rámcová podvrstva	24
4.2.3 XGTC fyzická adaptační vrstva	25
4.2.4 Struktura rámce pro sestupný směr	25
4.2.5 Struktura rámce pro vzestupný směr	25
4.3 Časový multiplex u XGPON	26

4.4	Zhodnocení	26
5	Huawei	28
5.1	MA5603T	28
5.1.1	GPON karta	29
5.1.2	GE karta pro uplink	29
5.2	ONT jednotky	29
5.2.1	HG8010	29
5.2.2	HG8245	30
6	Konfigurace zařízení	31
6.1	Měřené zapojení	31
6.1.1	Návrh konfigurace ONT	32
6.2	Konfigurace směrovače	33
6.3	Konfigurace OLT MA5603T	34
6.3.1	Nastavení VLAN	34
6.3.2	Vytvoření profilů	34
6.3.3	Přidání jednotky	35
6.4	Nastavení streamovacího serveru	36
7	Testování parametrů	38
7.1	JDSU Smartclass Ethernet	38
7.2	Měření pomocí iPerf	39
7.2.1	Konfigurace serveru	40
7.2.2	Konfigurace klienta	40
7.2.3	Výsledky měření	42
7.2.4	Grafická varianta jPerf	43
8	Závěr	44
	Seznam obrázků	46
	Seznam tabulek	47
	Literatura	48
A	Přílohy	I
A.1	Obsah přiloženého CD	I
B	Laboratorní úloha	II
B.1	Úvod a konfigurace zařízení	II
B.1.1	Teoretický úvod	II
B.1.2	Popis pracoviště	II
B.1.3	Použité přístroje	III
B.1.4	Schéma zapojení	III
B.1.5	Postup	III
B.2	Měření parametrů	V
B.2.1	Nastavení serveru	V
B.2.2	Nastavení klienta	V
B.2.3	Výsledky měření	V

C Konfigurační manuál	VI
C.1 Základní příkazy	VI
C.2 VLAN	VII
C.3 Přidání ONU jednotky	VII
C.4 Traffic profily	IX
C.5 GPON DBA profily	XI
C.6 GPON line profily	XII
C.7 Multicast služby	XIV

Seznam zkratek

10GEPON	10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network.
ACL	Access Control List.
Alloc-ID	Allocation Identifier.
APD	Avalanche Photo-Diodes.
APON	ATM-Based Passive Optical Network.
ATM	Asynchronous Transfer Mode.
BIP	Bit Interleaved Parity.
BPON	Broadband Passive Optical Network.
BufOcc	Buffer Occupancy.
BWmap	Bandwidth map.
CATV	Community Antenna Television.
CIR	Committed Information Rate.
CLI	Command Line.
CRC	Cyclic Redundancy Check.
DBA	Dynamic Bandwidth Assignment.
DBR	Dynamic Bandwidth Report.
DFB	Distributed Feedback Laser Diode.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol.
DNS	Domain Name System.
DSF	Dispersion Shifted Fiber.
EPON	Ethernet Passive Optical Network.
F-P	Fabry-Perot.
FBA	Fixed Bandwidth Assignment.
FEC	Forward Error Correction.
FTTB	Fiber to the Building.
FTTC	Fiber to the Curb.
FTTH	Fiber to the Home.
FTTN	Fiber to the Node.
FTTO	Fiber to the Office.
FTTx	Fiber to the x.
GEM	GPON Encapsulation Method.
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Networks.
GTC	GPON Transmission Convergence.
GTC-A	GTC Adaptation Sublayer.
GTC-F	GTC Framing Sublayer.
HEC	Header Error Control.
HFC	Hybrid Fiber Coax.
HLeD	Header Length Downstream.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IP	Internet Protokol.
IPTV	Internet Protokol TV.
ITU	International Telecommunication Union.
LAN	Local Area Network.
MAC	Media Access Control.
MPCP	Multi-Point Control Protocol.
MPLS	Multiprotocol Label Switching.
NAT	Network Address Translation.
NEXT	Near End Crosstalk.
NRS-DBA	Non-status Report DBA.
NRZ	Non Return to Zero.
OAM	Operations, Administration and Maintenance.
OAN	Optical Access Network.
ODN	Optical Distribution Network.
ODS	Optical Distribution System.
OLT	Optical Line Terminal.
OMCI	ONU Management and Control Interface.
ONT	Optical Network Terminal.
ONU	Optical Network Unit.
ONU-ID	Optical Network Unit Identifier.
OS	Operation System.
OSI	Open Systems Interconnection.
OTDR	Optical Time-Domain Reflectometer.
OTL	Optical Trunk Line.
PC	Personal Computer.
PIR	Peak Information Rate.
PLC	Planar Lightwave Circuit.
PLend	Payload Length downstream.
PLI	Payload Length Indicator.
PLO	Physical Layer Overhead.
PLOAM	Physical Layer OAM.
PLS	Power Leveling Sequence.
PMD	Physical Media Dependent.
PON	Passive Optical Networks.
Port-ID	Port Identifier.
POTS	Plain Old Telephone Service.
PSB	Physical Synchronization Block.
PSync	Physical Synchronization.
PTI	Payload Type Indicator.
QoS	Quality of Service.
RE	Reach Extender.
RS	Reed-Solomon.
SFP	Small Form-factor Pluggable.
SR-DBA	Status Report DBA.
T-CONT	Transmission Container.
TC	Transmission Convergence.
TCP	Transmission Control Protocol.
TDM	Time Division Multiplexing.

TM-DBA	Traffic monitoring DBA.
UDP	User Datagram Protokol.
USB	Universal Serial Bus.
VLAN	Virtual Local Area Network.
VoIP	Voice over Internet Protokol.
WDM	Wavelegth Division Multiplexing.
WDM-PON	Wavelength-Division Multiplexing-Passive Optical Networks.
Wi-Fi	Wireless Fidelity.
xDSL	x Digital Subscriber Line.
XGEM	XGPON Encapsulation Method.
XGPON	10-Gigabit-capable Passive Optical Network.
XGTC	XGPON Transmission Convergence.

1 Úvod

Cílem této diplomové práce je v první části seznámení se současným stavem teoretických poznatků o pasivních optických sítích a zpracování rešerše, ve které budou shrnuty nejdůležitější informace z této oblasti pro varianty **GPON** a **XGPON**.

Do současné doby se pro připojení koncových uživatelů v přístupových sítích využívalo hlavně bezdrátových technologií a **xDSL** technologií, hlavně díky nízkým nákladům a jednoduchosti realizace. Do budoucna je však třeba počítat s tím, že přenosové kapacity jakých lze u těchto technologií dosáhnout, nebudou dostačovat. Jednou z možností je náhrada pasivními optickými sítěmi, které dokáží poskytnout velkou přenosovou kapacitu a zároveň komplexně připojit hodně uživatelů.

V dnešní době se firmy, poskytující telekomunikační služby, spíše zdráhají výstavby těchto technologicky vyspělejších sítí, hlavně z důvodu vysokých nákladů spojených s výstavbou nové infrastruktury. Technologie využívající stávající metalická vedení sice neposkytují takové rychlosti pro koncové zákazníky jako pasivní optické sítě, ale není třeba vynakládat obrovské prostředky na výstavbu nových sítí.

Koncepčně lze počítat i s kombinovanými variantami těchto sítí označovaných jako **FTTx**. Část, která bude využívat optických technologií, může být tvořena jednou z variant pasivních optických sítí. Další část sítě pak může být tvořena již zmiňovanými **xDSL** technologiemi. U těchto technologií však nelze očekávat takové rychlosti, jako u variant, kde je optické vlákno přivedeno až ke koncovému zákazníkovi.

V dnešní době se dá považovat stále rozvoj takovýchto přípojek za velmi pomalý a zatím nachází uplatnění spíše v zahraničí a to zejména v Asii. Na trhu je přitom dostupných již mnoho variant těchto technologií, kde mezi nejrozšířenější patří **GPON** a **EPON**. Každou z těchto zmiňovaných variant vyvíjí a standardizuje jiná organizace a jsou proto vzájemně nekompatibilní, i když si jsou v mnohém velice podobné. Protože i tyto technologie začaly být postupem času nedostačující, hlavně z hlediska přenosových rychlostí, došlo k vývoji variant, které disponují rychlostmi až 10 Gbit/s. Ty víceméně vycházejí z variant předchozích a jsou vyvíjeny tak, aby mohly vzájemně koexistovat v již vytvořené síti.

Protože jsou tyto technologie založené hlavně na časovém multiplexu, ve výsledku se také blíží k maximálním přenosovým parametrům, kterých lze dosáhnout a v budoucnu je bude třeba nahradit. Zde přichází v úvahu přenos využívající vlnový multiplex. Takovéto sítě dostaly označení **WDM-PON** a představují další možnost vývoje těchto sítí.

2 Architektura PON

Moderní telekomunikační sítě, se kterými se lze v praxi setkat, jsou složeny ze tří hlavních částí. V první řadě jsou to páteřní sítě, které spojují metropolitní sítě a přístupové sítě. Drtivá většina metropolitních a páteřních sítí je tvořena sítěmi optickými. Jsou většinou stavěny z velmi drahých prvků a jejich struktura musí být přizpůsobena komunikaci na velké vzdálenosti. Technologie proto využívá vlnového multiplexu z důvodů nároků na velmi vysoké rychlosti a kapacity.

Přístupové sítě zajišťují připojení koncových uživatelů. Propojení mezi koncovým bodem telefonní sítě (místní ústředna) a uživatelem se v telekomunikační technice nazývá poslední míle. Využití pasivních optických sítí je jednou z možností jak tuto tzv. poslední míli překlenout. Dle vzdálenosti ukončení optického vedení od zákazníka se provádí dělení optických přípojek označované jako **FTTx**, kde poslední písmeno určuje právě typ dané síťové architektury. Je třeba si uvědomit, že náklady spojené s vytvořením sítě, kde bude každý zákazník přímo připojen do optické sítě, jsou obrovské. V souvislosti s tím se vytvářejí sítě kombinující optické a metalické vedení. U navazující metalické přípojky se poté využívá **xDSL** technologií, Ethernet 100/1000 Base-T v rámci **FTTB** variant nebo například koaxiálních rozvodů - **CATV** (označováno jako **HFC**). Tato struktura sítě snižuje nutné náklady na výstavbu sítě hlavně tam, kde je již metalické vedení připraveno a nemusí se proto tvořit kompletní infrastruktura.

Na straně zákazníka je poté ve většině případů vytvořena lokální síť (**LAN**). K oddělení těchto sítí se využívá směrovače za použití překladu adres **NAT**. Díky tomu lze na straně zákazníka provozovat více zařízení, sdílející jedno datové připojení.

2.1 Dělení FTTx

Dělení je tedy prováděno dle vzdálenosti ukončení optického vedení od koncového zákazníka. Dalo by se říct, že čím blíže zákazníkovi je optická síť ukončena, tím lepší přenosové parametry lze příslušnému uživateli poskytnout. V následujícím seznamu jsou vypsány ty, se kterými se lze setkat v praxi nejčastěji.

- **FTTH** - Koncové zařízení je umístěné v domácnosti. Představuje variantu založenou čistě na využití optického vlákna.
- **FTTO** - Zařízení je umístěné např. v kanceláři firmy ve větší budově.
- **FTTB** - Připojení je dovedeno k větší budově, kde je také umístěna koncová jednotka. Uživatelé jsou poté připojeni např. ethernetem.
- **FTTC** - Konektivita dovedena k místnímu rozvaděči, ze kterého se například xDSL technologií připojí koncoví zákazníci (vzdálenost od rozvaděče menší jak 1 000 m).
- **FTTN** - Stejně jako u předchozího případu, ale pro větší vzdálenosti od rozvaděče (větší než 1 000 m).

2.2 Pasivní optické sítě

V dnešní době tvoří **PON** velmi perspektivní řešení pro nasazení nové technologie v přístupových sítích. Všechny prvky používané při výstavbě sítě mezi poskytovatelem a koncovým uživatelem nepotřebují aktivní napájení. To přináší řadu výhod při stavbě sítě. Není potřeba zajišťovat napájení pro prvky po trase, což značně sníží náklady při výstavbě, ale i při provozování sítě, oproti systému s aktivními prvky. Dále dochází k úspoře počtu nutných tažených vláken na trase díky sdílení přenosového pásma mezi více zákazníků. Výstavbě těchto sítí brání v dnešní době hlavně náklady spojené s výstavbou těchto sítí. Stávající metalická vedení nenabízejí takové rychlosti, jakých lze dosáhnout u pasivních optických sítí, avšak zde není třeba vynaložit takové náklady na zprovoznění sítě. Základní stavební prvky pasivních optických sítí jsou popsány v kapitole 2.3.

Do dnešní doby vzniklo již mnoho variant této technologie. Mezi první lze zařadit varianty využívající přenosu **ATM** buněk ve verzích **APON** a **BPON**, které jsou však spíše minulostí, protože je nahradila technologie **GPON** a dnes již rychlejší **XGPON**. Paralelně s těmito variantami vznikají technologie využívající pro přenos ethernetových rámců **EPON** a rychlejší **10GEPON**.

2.3 Základní stavební prvky pasivní optické sítě

Pasivní optická síť se realizuje z několika základních stavebních prvků, které dostaly své specifické označení. V textu práce se odkazují právě na tyto zkratky.

- **OLT** - Optické linkové zakončení se nachází vždy na straně poskytovatele přípojky. Slouží zejména ke konverzi protokolů mezi přístupovými a páteřními sítěmi. Zároveň slouží jako centrální bod pro komunikaci a řízení s přímo připojenými koncovými **ONU** a **ONT** jednotkami. Tuto jednotku lze tedy považovat za bránu mezi přístupovými a páteřními sítěmi. Konfigurace koncových jednotek se provádí přímo na **OLT**, ke kterému je koncová jednotka připojena.
- **ONT** - Optické síťové zakončení je zařízení umístěné na straně koncového uživatele. Toto zařízení naopak provádí konverzi protokolů mezi přístupovou sítí a sítí lokální. Koncová jednotka je takto označována zejména u těch přípojek, které jsou opticky zakončeny přímo u zákazníka.
- **ONU** - Optická síťová jednotka má podobné funkce jako výše zmiňovaná **ONT**, avšak toto označení se využívá při zmiňované kombinaci optické přípojky např. s metalickou, ale i bezdrátovou technologií. Obecně je k ní ve většině případů připojeno mnohem více koncových uživatelů. V dnešní době výrobci nazývají jednotky ve většině případů **ONU**.
- **ODN** - Optická distribuční síť je tvořena všemi zařízeními, které se nachází mezi **OLT** a **ONU(ONT)**. Lze sem zařadit všechny pasivní prvky, které se používají pro realizaci pasivních optických sítí, např. optická vlákna, rozbočovače, konektory apod. Dle nového doporučení [8] může být **ODN** typu simple nebo composite. Pokud je typu simple, tak je tvořeno pouze rozbočovačem a příslušnými vedeními. Pokud je naopak typu composite, tak několika **ODS**, kdy každá část obsahuje rozbočovač. Tyto sítě jsou spojeny tzv. „opakovači“ **RE**. Mezi posledním **RE** a **OLT** může být pouze vedení a pak se tato část nazývá **OTL**. Přidáním opakovače zařadíme do struktury sítě aktivní

prvek a nelze ji proto považovat za čistě pasivní. Takovéto sítě se poté označují jako sítě s prodlouženým dosahem.

- **OAN** - Optická přístupová síť je tvořena více distribučními sítěmi připojenými k jednomu **OLT**. Jedno **OLT** může vytvořit několik vzájemně nezávislých distribučních sítí.

2.4 Optická vlákna

Optická vlákna disponují velmi nízkými ztrátami, nízkým šumem a velkou šířkou pásma. Přenos signálu vláknem není ovlivněn elektromagnetickým rušením. To jsou hlavní důvody, díky nimž se toto médium využívá v datových sítích, kde je potřeba překlenout velké vzdálenosti (např. páteřní sítě). Díky vývoji **WDM** technologií došlo k rapidnímu navýšení přenosové kapacity, což vedlo k lepšímu komerčnímu využití vláken i v přístupových sítích.

V dnešní době jsou vlákna vytvořena z vysoce čistého skla s kruhovým průřezem. Jádru má obvykle vyšší index lomu a je obklopeno pláštěm s nižším indexem lomu z důvodu splnění podmínky totální reflexe na jejich rozhraní. Optická vlákna lze dělit na jednovidová a vícevidová. Z hlediska výroby je rozdíl hlavně v rozměrech jádra a pláště. U jednovidových vláken se průměr jádra pohybuje okolo 10 μm . U vícevidových vláken se tento rozměr udává 50 μm nebo 62,5 μm . Vícevidová vlákna mohou být realizována buď se skokovou změnou indexu lomu nebo s gradientní změnou indexu lomu. Pokud zvětšíme průměr vlákna, lze dosáhnout toho, že se i v jednovidovém vlákně bude šířit více vidů. Zároveň je třeba uvažovat, že při nižších vlnových délkách se mohou jednovidová vlákna chovat jako vícevidová.

Pokud se ve vlákně šíří více vidů, tak může docházet k tzv. vidové disperzi neboli časovému rozšíření pulzů, neboť se každý vid může šířit jinou rychlostí. Disperze významně ovlivní překlenutelnou vzdálenost. Vícevidová vlákna jsou proto spíše využívána pro připojení uvnitř budov a pro páteřní sítě se využívají, z důvodu lepších vlastností, právě jednovidová. Nicméně z důvodů vysokých nároků na rychlost se v dnešní době využívají v přístupových sítích také jednovidová vlákna.

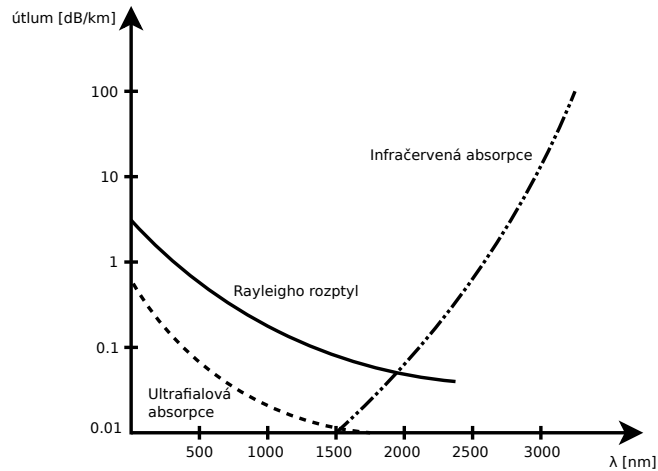
U jednovidových vláken dochází zejména k chromatické disperzi a to v důsledku různé rychlosti šíření na různých vlnových délkách. Chromatická disperze se udává v jednotkách ps/(nm·km). Klasické vlákno vyrobené z materiálu SiO_2 má tuto disperzi na vlnové délce 1310 nm nulovou. Na vlnové délce 1550 nm je tato hodnota 17 ps/(nm·km). Pokud bychom však potřebovali nulovou disperzi právě na této vlnové délce, tak toho lze docílit speciálními vlákny s posunutou disperzí (**DSF**).

Vlákna tvoří velice důležitou část sítě a při návrhu je třeba počítat se ztrátami způsobenými jak fyzikálními jevy (viz. 2.4.1), tak i ztrátami spojenými se spojováním vláken (svařování, konektorování).

2.4.1 Ztráty ve vláknech

V optických vláknech dochází ke ztrátám, které jsou způsobené různými fyzikálními jevy, které nelze nikdy úplně potlačit a je třeba s nimi počítat při návrhu sítě. Mezi ně patří ztráty materiálovým Rayleighovým rozptylem na nižších vlnových délkách a absorpcí infračerveného světla na vyšších vlnových délkách, které omezují použití těchto vláken pro vlnové délky viditelného světla a zároveň pro vlnové délky větší jak 1700 nm. Dále se zde objevují ztráty způsobené mikrohybem a makrohybem. V neposlední řadě jsou zde také ztráty vzniklé při spojování a svařování, které lze silně ovlivnit kvalitou zpracování. Při

velkých vstupních výkonech může docházet k dalším tzv. nelineárním jevům. Na obrázku (Obr. 2.1) lze vidět závislost útlumu na vlnové délce.



Obrázek 2.1: Závislost útlumu na vlnové délce - Podle [16]

Rayleighův rozptyl je způsoben rozptylem na mikrozměnách ve vlákně, kdy se část energie rozptyluje do všech směrů. Maximum energie však stále pokračuje ve směru šíření. Vliv Rayleighova rozptylu postupně s vyššími vlnovými délkami klesá, čehož je využito u jednovlňových vláken, kdy se dosahuje minimálního útlumu na 1550 nm. Dále směrem k vyšším vlnovým délkám poté začne útlum opět narůstat vlivem infračervené absorpce. Rayleighova rozptylu lze využít při sledování útlumu trasy metodou **OTDR**.

U starších SiO₂ vláken se objevuje na vlnové délce přibližně 1383 nm špička se skokovým nárůstem útlumu. Způsobuje jí absorpce OH iontů, kterou se však již u nových vláken podařilo potlačit ve výrobním procesu. Pokud je však vlákno nevhodně umístěno, například ve vlhkém prostředí, tak může dojít k opětovnému nárůstu útlumu na vlnových délkách okolo 1383 nm. Pro tyto účely je třeba vlákno doplnit o další látky, které zamezí ovlivnění vlastností vlákna.

Na vlnových délkách blízko 1550 nm se vyskytuje minimální útlum s hodnotou okolo 0,19 dB/km a na 1300 nm je útlum v rozmezí 0,33 - 0,35 dB/km. Spektrum používaných vlnových délek bylo rozděleno na pásma viz. následující tabulka (Tab. 2.1).

Tabulka 2.1: Rozdělení spektra na pásma

Označení	O	E	S	C	L	U
$\lambda[\mu\text{m}]$	1,26-1,36	1,36-1,46	1,46-1,53	1,53-1,56	1,56-1,63	1,63-1,68
GPON	Upstream	-	Downstream	TV	-	-
XGPON	Upstream	-	-	TV	Downstream	-

V tabulce je zároveň uvedeno, která pásma vlnových délek se využívají v pasivních optických sítích. Pro vzestupný směr se využívají vlnové délky, kde je nižší hodnota disperze z důvodu použití horších laserů v **ONT** jednotkách. Pro směr sestupný se využívají lasery s mnohem lepšími vlastnostmi, a proto se využívá vlnových délek s horší hodnotou disperze, ale zároveň lepší hodnotou útlumu. Na obrázku (Obr. 4.1) na straně 23 lze vidět jaké vlnové délky využívají technologie **GPON** a **XGPON**. Z důvodu koexistence obou těchto technologií

v praxi bylo nutné vyhradit u varianty **XGPON** jiné vlnové délky pro vzestupné a sestupné směry. Z tabulky (Tab. 2.1) lze vidět, že u rychlejší varianty došlo ve směru sestupném k posunu do pásma L. Pásmo C je vyhrazené pro poskytování služeb kabelové televize.

2.5 Typ multiplexace

U pasivních optických sítí se využívá dvou typů multiplexace a to buď tzv. časovým (**TDM**) nebo vlnovým (**WDM**) dělením. U časového dělení se využívá pasivních výkonových rozbočovačů, které opakují signál na všechny výstupy. Z toho vyplývá, že ke každé koncové **ONT** jednotce dojdou i data určená pro ostatní jednotky v topologii. V signálu musí být tedy data adresovaná, aby **ONT** jednotky mohly určit data určená právě pro ně. Tohoto systému využívá většina komerčně dostupných **PON** systémů.

Druhou metodou je vlnové dělení, které naopak využívá pasivní vlnové odbočnice, čímž se dosáhne toho, že se ke koncové jednotce dostane jen signál na požadované vlnové délce. Rozbočovač tedy plní funkci směrovače, kde ke každé koncové jednotce přeposílá data pro ni určená. Z pohledu technologie je tato metoda lepší hlavně z důvodu bezpečnosti a lepší škálovatelnosti.

Současná generace **PON** využívá pouze technologií založených čistě na **TDM** principu. Do budoucna je však třeba počítat s nasazením technologií **WDM**, protože již pro rychlosti 10 Gbit/s není **TDM** příliš efektivní. S nasazením **WDM-PON** dojde k navýšení přenosových kapacit a díky rychlému vývoji může dojít ke snížení ceny komponent. V dnešní době se pracuje hlavně na problémech spojených s přechodem z **TDM** na **WDM-PON**, ale i cenou komponent pro **WDM**.

Nicméně pro další navyšování přenosových rychlostí **PON** sítí se již perspektivně počítá s aplikací **WDM**. Proto se nástup a rozvoj **WDM-PON** sítí očekává postupně za cca 2-4 roky, díky jejich rychlému rozvoji pak klesne i cena **WDM** komponent.

2.6 Topologie

Tvorba topologie sítě je závislá na tom, zda-li použijeme v systému dvou separátních vláken, kdy je pro každý směr přenosu určeno jedno vlákno, nebo použijeme jedno vlákno pro provoz v obou směrech. Pro systém se dvěma vlákny není třeba řešit problémy s duplexním přenosem a systém je proto jednodušší na implementaci. Pro oba směry může být použit levnější Fabry-Perotův laser, avšak protože máme dva odlišné směry provozu nezávislé na sobě, tak je potřeba v obou směrech použít samostatných rozbočovačů, což je ve výsledku s narůstajícím počtem nutných rozbočovačů na celé trase nákladnější.

V jednovláknovém systému je tedy použito pro oba směry jedno separátní vlákno. Pokud chceme využívat systém s jednou vlnovou délkou pro oba směry, je potřeba v každé jednotce **ONT** a **OLT** použít 1:2 směrovou vazební spojku, která sice vykazuje útlum cca 3,5 dB, ale rozděluje provoz v daných směrech. Problémem však je, že v takto vytvořeném systému může docházet k přeslechu typu **NEXT**, kdy se např. přijímaný signál od **OLT** jednotky sloučí se signálem vysílaným **ONT** jednotkou. Tento nechtěný jev lze potlačit již zmiňovaným časovým multiplexem, kdy vyhradíme pro jednotlivé směry časové intervaly, ve kterých smějí vysílat. Lze tím dosáhnout až 50% zlepšení oproti systému bez **TDM**. O přidělování časových rámců se stará **OLT** jednotka.

Další možností je použití vlnového multiplexu k oddělení směrů na vlnových délkách 1,3/1,5 μm . Při návrhu se bere vždy největší ohled na cenu jednotlivých optických prvků.

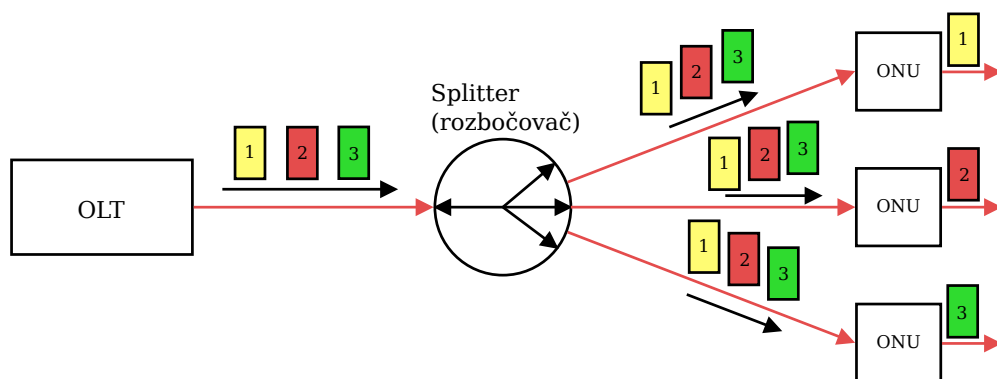
Nejllepší by bylo opět použít Fabry-Perotova laseru pro oba směry, protože je nejlevnější, jednoduchý a má dobrý výstupní výkon. Nevýhodou je, že nevysílá na jedné vlnové délce, ale s velkou šířkou spektra. Na vyšších vlnových délkách se poté začne objevovat vliv disperze, což značně ovlivní dosažitelnou vzdálenost. Již jednou však bylo zmíněno (viz. kapitola 2.4), že na vlnové délce 1300 nm je disperze nulová a je zde tedy možné tento laser použít. Další nevýhodou tohoto laseru je závislost vlnové délky výstupu na teplotě. Z těchto důvodů bylo pro vzestupný směr vyhrazeno širší pásmo, protože v **ONT** jednotkách není řešena teplotní závislost laseru.

Na vlnové délce 1550 nm, kde má disperze hodnotu 17 ps/(nm·km), je typická spektrální šířka **F-P** laseru 2,5 nm. Bez kompenzace disperze je na této vlnové délce tento laser nepoužitelný a je třeba využít laseru s menší šířkou spektra. Takovéto lasery jsou mnohem nákladnější, avšak mohou být použity díky svým vlastnostem i pro vlnové délky, na kterých se disperze projevuje. Lze sem zařadit například **DFB** (Laser s rozprostřenou zpětnou vazbou) laser.

Ve výsledku lze tedy říct, že **F-P** laser je umístěn v jednotkách **ONT** a využívá se pro vzestupný směr a **DFB** laser se používá naopak v **OLT** jednotkách pro sestupný směr. **OLT** jednotek je samozřejmě mnohem méně a cena dražšího laseru se tak rozdělí mezi mnohem více koncových jednotek.

2.7 Návrh pasivní optické přístupové sítě

V dnešní době se v **PON** sítích k rozdělování signálu k více koncovým stanicím převážně využívá technologie výkonových rozbočovačů (**PLC**). Náklady na zřízení **OLT** jednotky se poté rozdělí mezi více **ONT** jednotek. Samotná struktura se pak vytváří buď stromově nebo jako sběrnice s odbočkami k jednotlivým **ONT** (nevyžívá se). Stromová struktura může být vytvářena jako jednostupňová nebo vícestupňová. Použitá struktura se většinou navrhuje podle potřeb jednotlivě pro dané lokality.

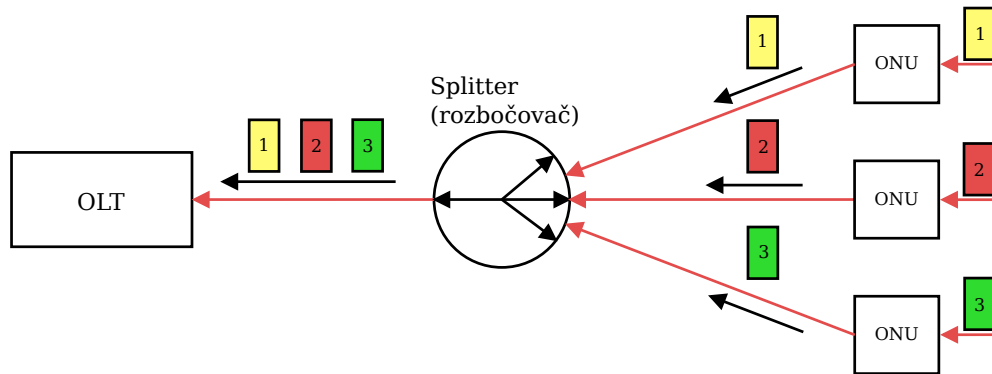


Obrázek 2.2: Funkce rozbočovače v sestupném směru - Zdroj: *Autor*

Mezi faktory ovlivňující návrh patří počet koncových stanic a jejich umístění, ale i náklady spojené s použitím více výkonových rozbočovačů. Z hlediska poskytovatele je jednodušší použít jeden rozbočovač s více výstupy než více rozbočovačů s méně. Ovlivní se tím např. počet nutných koncovek, ztráty a celkově to dělá návrh mnohem jednodušší.

Rozbočovač tedy přeposílá signál pro jednotlivé jednotky do všech větví. V konečném důsledku se tedy ke koncové jednotce nedostane pouze signál určený pro ni, ale i signály

určené pro ostatní jednotky připojené k danému **OLT**. V koncových **ONT** je tedy vyřešeno samotné oddělení dat, ke kterým má daný koncový uživatel mít přístup. Z těchto důvodů je třeba data šifrovat a zabránit tak možnému odposlechu zpráv určených pro jiné jednotky. V opačném směru smí **ONT** komunikovat jen v přidělených časových intervalech a v tomto případě rozbočovač plní funkci jakéhosi slučovače zpráv od jednotlivých koncových zařízení. K **OLT** pak přicházejí data od všech zařízení v příslušném pořadí.



Obrázek 2.3: Funkce rozbočovače ve vzestupném směru - Zdroj: *Autor*

U každého rozbočovače se udává tzv. rozbočovací poměr, který je určen počtem vstupů a výstupů. Dnes dostupné rozbočovače mají vždy jeden vstup a N výstupů. Počet výstupů je proměnný a nejčastěji se lze setkat s počtem 8, 16, 32, 64 (dnes i 128). Čím více výstupů, tím více jednotek lze připojit do dané sítě. Narůstá však ztráta, kterou rozbočovač do trasy vloží. V ideálním případě lze ztráty vypočítat ze vzorce (2.1), kde N je počet výstupů. K této ztrátě je pak třeba přičíst tzv. uniformitu, což je vlastně suma útlumu zbylých rozbočovačů, ve kterých jsou započteny nedokonalosti a nepřesnosti konstrukce, teplotní vlivy, odrazy na rozhraních rozbočovače. Udávaná hodnota u dnešních rozbočovačů je okolo hodnoty 0,4 - 0,5 dB.

$$L = 10 \cdot \log(N)[dB] \quad (2.1)$$

Abychom mohli používat vyšší rozdělovací poměry, tak je třeba použít výkonné laserové zdroje a naopak vysoce citlivé snímače. Na trase by zároveň mělo docházet k co nejmenším ztrátám. Jako optimální hodnota rozdělovacího poměru se udává 1:40.

Při vyšších rozdělovacích poměrech zároveň dochází k dělení šířky pásma mezi více **ONT** jednotek, čímž dojde ke snížení možné propustnosti pro jednotlivé uživatele.

2.8 Komerčně dostupné varianty

Jak již bylo uvedeno, tak jsou dnes na trhu dostupné dvě technologicky rozdílné varianty využívající přenosu **ATM** buněk či **GEM** rámců a zároveň varianty založené na technologii ethernet. Datové sítě založené na protokolu ethernet dostaly velké oblibě a standardizační organizace **IEEE** představila variantu pasivní optické sítě, založenou právě na ethernetu. Varianta využívající protokol ethernet je označována názvem **EPON** a její rychlejší varianta **10GEPON**. Prvně jmenovaná využívá přenosových rychlostí 1 Gbit/s, což se pro budoucnost ukázalo jako nedostačující, a proto došlo ke standardizaci 10 Gbit/s varianty.

Jak již bylo zmíněno, tak paralelně s touto technologií standardizační skupina **ITU** vytvořila variantu **GPON** a **XGPON**. V praktické části práce jsem využíval varianty **GPON** a proto jsem její vlastnosti shrnul v kapitole 3.

2.8.1 EPON

Pasivní optická přístupová síť **EPON** je jednou z variant přístupových sítí **PON** a z hlediska topologie je velice podobná ostatním variantám. Značení jednotlivých komponent sítě je stejné se značením viz. kapitola 2.3.

V porovnání s ostatními typy **PON** nabízí **EPON** jednu symetrickou variantu přenosových rychlostí. Zároveň v porovnání s **GPON** nabízí připojení menšího počtu koncových uživatelů hlavně z důvodu horších útlumových parametrů.

Podobně jako u **GPON** je pro přenos využíváno jedno optické vlákno pro oba směry, díky využití vlnového multiplexu. Protože je k jednomu **OLT** připojeno více koncových **ONT**, je pomocí časového multiplexu rozdělen provoz do jednotlivých časových intervalů. Datový tok v sestupném směru je tedy tvořen multirámci, které jsou díky pasivním rozbočovačům cíleny ke všem koncovým jednotkám. Multirámeček je tvořen rámcem ve formátu ethernet a dalšími identifikačními prvky. Ve vzestupném směru jednotky vysílají v definovaných intervalech. Z důvodu nutnosti přidělování intervalů, přenosových kapacit a nutnosti řízení došlo k vytvoření protokolu **MPCP**, který tyto funkce zprostředkovává.

2.8.2 10GEPON

Podobně jako předchozí varianta je založena na přenosu ethernetových rámců. **10GEPON** však představuje z hlediska parametrů mnohem lepší variantu, která byla vyvíjena s požadavkem na zpětnou koexistenci s technologií **EPON**. Bylo třeba se ohlížet na to, že jsou již v praxi tyto sítě vytvořené a není možné provést výměnu všech zařízení v jednu chvíli. Ve výsledku se dospělo k tomu, že bude nutné, aby tyto sítě mohly částečně koexistovat v již vytvořené síti a mohlo tak docházet k postupnému přechodu na výkonnější variantu.

V principu jsou si varianty víceméně podobné, kdy novější **10GEPON** vychází z předchozí **EPON**. Z důvodu koexistence obou variant došlo ke změně používaných vlnových délek pro přenos signálu. Zároveň došlo k rozšíření počtu variant možných přenosových rychlostí v podobě symetrických či asymetrických toků.

Došlo také k rozšíření útlumových tříd a změně kódování. Hodnoty rozbočovacího poměru a překlenutelné vzdálenosti se neliší, ale lze tyto parametry částečně ovlivnit topologií navržené sítě. V následující tabulce (Tab. 2.2) jsou shrnuty hlavní rozdíly těchto variant.

Tabulka 2.2: Hlavní rozdíly mezi EPON a 10GEPON variantou

Parametry	EPON	10GEPON
Max. rychlosti [Gbit/s]	1 / 1	10 / 10
Vlnové délky - vzestupný [nm]	1260 - 1360	1260 - 1280 (1260 - 1360)
Vlnové délky - sestupný [nm]	1480 - 1500	1575 - 1580
Dosažitelná fyz. vzdálenost [km]	20	20
Maximální rozdělovací poměr	1:32	1:32 (možnost až 128)
Překódování	8b/10b	64b/66b

3 GPON dle ITU-T G.984

Hlavním důvodem vytvoření varianty GPON byla již pomalu nedostačující technologie založená na ATM buňkách (APON/BPON). V telekomunikacích se také začal objevovat požadavek na univerzální protokol. Dřívější technologie měla složitý adaptační model. Zároveň se začaly prosazovat požadavky na QoS, které činily síťové prvky značně drahými. Toto byly hlavní důvody, které vedly ITU k vytvoření nového standardu ITU-T G.984 pro PON sítě s gigabitovou rychlostí.

GPON je optimalizován z důvodu požadavku na vyšší rychlosti již na fyzické vrstvě. Dosahuje tím zároveň i větších vzdáleností a rozdělovacího poměru, než je možné dosáhnout u ostatních PON technologií. Nicméně GPON stále vychází z dřívějších standardů, ze kterých je hodně věcí převzato. Je zde podporováno sedm různých možných kombinací rychlostí a to buď v symetrické či asymetrické podobě. Nejvyšší možná rychlost je v obou směrech uváděna 2,5 Gbit/s.

GPON využívá metody zapouzdřování k přenosu např. ATM buněk a ethernetových rámců. Pro tyto účely se využívá metody GEM, která zapouzdří data skrz technologii GPON. Přenos ethernetových rámců je mnohem účinnější než u konkurenční varianty EPON, u které je mnohem větší režie přenosu. Zároveň GPON podporuje IP video skrz ethernetové či ATM rámce. Oproti již zmíněným technologiím BPON/EPON nabízí podstatně větší rychlosti.

3.1 Přenosové parametry na fyzické vrstvě

Přenosové parametry PMD vrstvy jsou popsány v doporučení ITU-T G.984.2. Stejně jako u technologií APON a BPON jsou definovány pro použití s jedním vláknem (nutné WDM) nebo dvěma vlákny. Rychlosti definované tímto standardem lze vidět v tabulce (Tab. 3.1).

Tabulka 3.1: Možné přenosové rychlosti v daných směrech

Směr přenosu	Rychlost [Mbit/s]
Sestupný	1244,16
	2488,32
Vzestupný	155,52
	622,09
	1244,16
	2488,32

Na fyzické vrstvě se využívá NRZ kódování pro oba směry komunikace. Největší hodnota vysílaného výkonu symbolizuje hodnotu binární 1 a nejnižší binární 0. Pro sestupný směr se dle [4] využívá při použití jednoho vlákna vlnových délek 1480-1500 nm a při použití dvou vláken 1260-1360 nm. Pro vzestupný směr se používá 1260-1360 nm, což bylo upraveno s příchodem technologie XGPON viz. kapitola 4. Maximální dosažitelnou reálnou vzdáleností je 20 km, kdy však pro dosažení správné funkce na tyto vzdálenosti je třeba využít v ONT

jednotkách lavinových APD diod. Pro různé přenosové rychlosti, vždy v každém směru, jsou definovány odlišené parametry, které musí být dodrženy.

Jak již bylo výše řečeno, tak maximální dosažitelnou vzdáleností je 20 km. Tato hodnota představuje dle [3] tzv. fyzický dosah sítě. Zároveň byl definován i logický dosah sítě.

- Fyzický dosah - Představuje maximální vzdálenost mezi ONT a OLT, se kterou lze reálně pracovat. Je to vzdálenost, která bere v úvahu fyzikální omezení a možný překlenutelný útlum. U varianty GPON byl tento dosah stanoven na 20 km.
- Logický dosah - Představuje maximální vzdálenost mezi ONT a OLT, bez uvážení limitů spojených s fyzickou vrstvou. U varianty GPON byl tento logický dosah stanoven na 60 km.

Popsané parametry v podobě fyzického a logického dosahu jsou dále důležité pro správnou funkčnost přidělování vysílacích okamžiků pro vzestupný směr. V doporučení ITU-T G.983.1 [11] byl proto definován pojem ranging, což je metoda pro měření a vyhodnocení zpoždění v PON sítích.

3.1.1 Měření doby zpoždění

Měření doby zpoždění pro jednotlivé ONT by mělo být možné během provozu PON sítě bez přerušení služby jiné ONT. Velikost okna pro měření signálu zpoždění může být minimalizována informací o tom, kde se přibližně jednotka ONT nachází. Poskytovatel služeb může v první řadě definovat minimální a maximální vzdálenost ONT jednotky od OLT. Pokud to neprovede, tak se minimální vzdálenost nastaví na 0 km a maximální na 20 km (vychází z maximálního fyzického dosahu u GPON). Operátor, který provádí konfiguraci jednotky, může také stanovit přibližnou vzdálenost jednotky od OLT. Ranging protokol je definovaný pro různé způsoby instalace ONT jednotek a je zde více možností jak toto zpoždění měřit. Pokud je to třeba, lze měření provádět s dalšími volitelnými funkcemi. Samotné zjištění vzdálenosti jednotky od OLT je pak možné provést dvěma možnými cestami. Buď započne proces síťový operátor v okamžiku, kdy je připojena nová jednotka a ten se po dokončení automaticky zastaví, nebo OLT jednotka sama monitoruje, zda-li není připojena nová jednotka a v případě detekce započne ranging proces. Doba zpoždění signálu je vypočítaná jako součet jednotlivých zpoždění viz. vzorec 3.1.

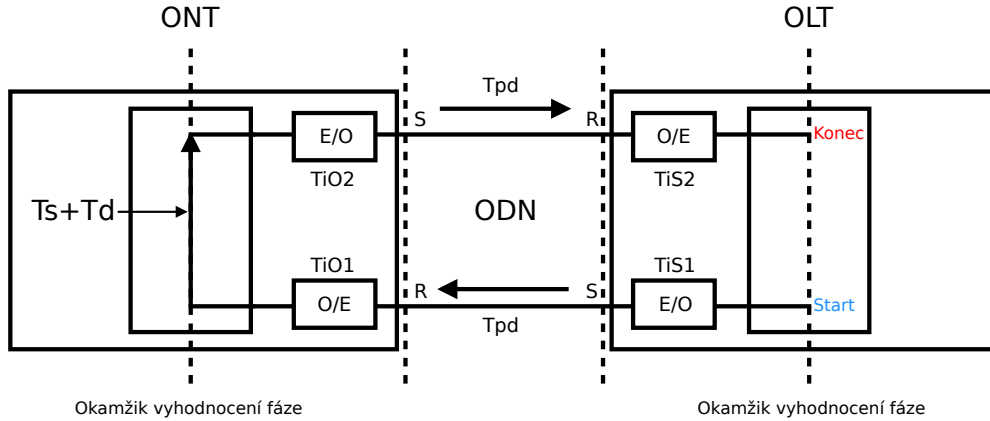
Ranging procedura je rozdělena do dvou hlavních fází. V první fázi se provede registrace nové jednotky na základě sériového čísla a ONT jednotce je přiřazeno ONU-ID, které je v budované PON síti unikátní. Tento identifikátor je poté využit pro monitoring, testování a další kontrolní funkce.

Jsou dvě možnosti jak provést instalaci nové ONT jednotky. V první dojde k registraci jednotky na straně OLT za pomoci sériového čísla. V druhém případě není sériové číslo známo a je využito automatického detekčního mechanismu. Při něm je zjištěno sériové číslo a dojde k registraci jednotky.

Přiřazení ONU-ID je dle [1] rozděleno do několika kroků. Nejprve OLT přeruší komunikaci se všemi aktivními ONT jednotkami pro vzestupný směr. Poté si vyžádá sériové číslo, pokud není známo. Následuje přenos sériového čísla směrem od jednotky ONT po náhodně vygenerovaném zpoždění (maximálně 50 ms). OLT po příjmu čísla přiřadí jednotce příslušné ONU-ID.

V další fázi dojde ke zmíněnému měření doby zpoždění pro nově registrovanou jednotku. Měření se provádí i pro jednotky, u kterých došlo ke ztrátě komunikace. Podobně jako při

registraci jednotky dojde k přerušení komunikace se všemi **ONT** ve vzestupném směru. Poté pošle **OLT** jednotka požadavek na změření zpoždění tzv. ranging request. **ONT** jednotka na požadavek odpoví ve zprávě, která mimo jiné obsahuje **ONU-ID** přiřazené v první fázi. Na základě času mezi dotazem a odpovědí je proveden výpočet zpoždění. Po provedení výpočtu, zkontrolování sériového čísla a **ONU-ID**, vyšle **OLT** směrem k **ONT** zprávu vypočtené hodnoty, která si je uloží do paměti.



Obrázek 3.1: Zobrazení jednotlivých zpoždění a určení referenčních bodů - Podle [11]

$$T = T_{iS1} + T_{pd} + T_{iO1} + T_s + T_d + T_{iO2} + T_{pd} + T_{iS2} \quad (3.1)$$

Časy $T_{iS1}, T_{iO1}, T_{iO2}, T_{iS2}$ jsou dány zpožděním při převodu z optického signálu na elektrický a obráceně a to jak na straně **OLT**, tak i na straně **ONT**. Čas T_s je definován jako rozdíl okamžiků od přijmutí první **PLOAM** buňky v sestupném rámci a okamžiku, kdy se ve vzestupném směru začnou vysílat uživatelská data, za předpokladu, že je doba T_d rovna 0. Doba T_s je tedy uvažována na straně **ONT**. Doba T_d představuje čas, kdy jednotka čeká na svůj vysílací okamžik. Doba T_{pd} je dána dobou šíření signálu v distribuční síti mezi jednotkou **OLT** a **ONT**.

Zároveň je v doporučení [11] definován čas T_{ONU} , který představuje zpoždění způsobené příjmem signálu, jeho zpracováním a vysláním signálu pro konkrétní jednotku **ONT**. Tento čas je dán opět součtem několika zpoždění viz. vzorec 3.2

$$T_{ONU} = T_{iO1} + T_s + T_d + T_{iO2} \quad (3.2)$$

3.1.2 Útlumová bilance

Na fyzické vrstvě byly v rámci tohoto dokumentu definovány jednotlivé útlumové třídy. V prvním vydání se jednalo o třídy A, B a C. Tyto třídy se v zásadě lišily hlavně použitými optickými zdroji a optickými detektory. Cílem těchto tříd bylo zoptimalizovat návrh a realizaci pasivních optických sítí, hlavně z hlediska nutných nákladů na výstavbu sítě. Pro každou třídu jsou dále definovány minimální a maximální hodnoty vysílacího a přijímaného výkonu. V tabulce (Tab. 3.2) níže jsou uvedeny třídy s jejich využitím a definovanými útlumy.

V praxi se však ověřil fakt, že rozsah útlumu u třídy A je moc malý a pro rozsáhlejší síť nebylo možné takto nízké hodnoty útlumu splnit a tato třída proto nenašla velké uplatnění. Při použití větších rozbočovacích poměrů 1:32 (64), jímž odpovídá útlum 16 dB (19 dB),

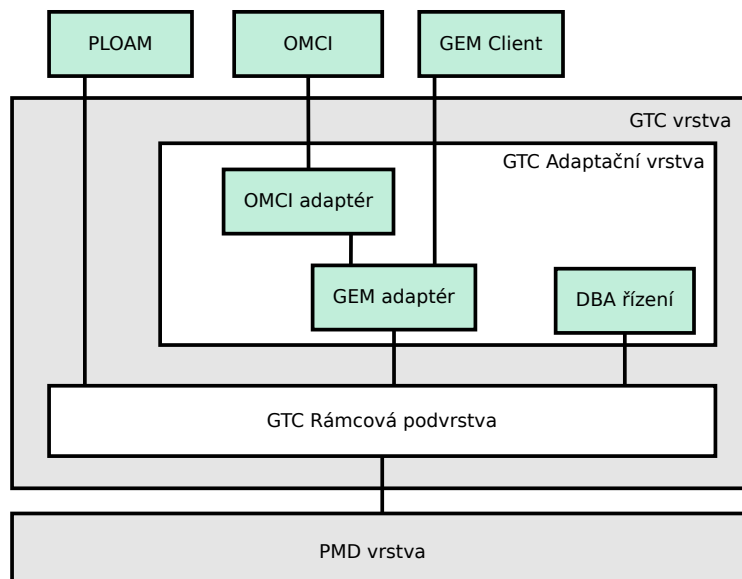
Tabulka 3.2: Útlumové třídy

Označení	Využití	Rozsah útlumu [dB]
A	krátké vzdálenosti	5 - 20
B	střední vzdálenosti	10 - 25
C	velké vzdálenosti	15 - 30
B+	doplnění mezi B a C	13 - 28
C+	další navýšení překl. vzdálenosti	17 - 32

musela být volena třída B, aby byla dostatečná rezerva vložného útlumu pro další prvky v síti.

Tyto důvody vedly k rozšíření těchto třech základních tříd o další dvě, v podobě třídy B+ a C+. Třída B+ prakticky vyplnila prostor mezi třídami B a C, z důvodu narůstajících požadavků na parametry sítě. Třída C+ navýšila maximální hodnotu útlumu o 2 dB oproti původní třídě C. Hlavní využití této varianty je při vysokých rozbočovacích poměrech a při nutnosti překlenout velké vzdálenosti. Tyto dodatkové varianty útlumových tříd jsou specifikovány pouze pro jednu variantu přenosových rychlostí a to ve směru sestupném 2,5 Gbit/s a ve vzestupném 1,25 Gbit/s.

3.2 Vlastnosti GTC vrstvy



Obrázek 3.2: Vrstvový model optické sítě typu GPON - Podle [5]

Na fyzickou vrstvu navazuje vrstva **GTC**, která je rozdělena do dvou hlavních podvrstev a popsána je v doporučení ITU-T G.984.3. Dle [5] lze na této vrstvě považovat **ONU** a **ONT** za stejné zařízení, i když je v praxi mezi těmito jednotkami rozdíl. **ONT** je vlastně speciální případ **ONU** pro připojení pouze jednoho koncového účastníka. Mezi hlavní funkce

této vrstvy patří adaptace klientských protokolů, řízení a registrace **ONT** jednotek, rozhraní pro dynamické přiřazování pásma **DBA**, **FEC** a další viz. [5].

GPON technologie využívá již zmiňované časové multiplexace **TDM**. Viz. kapitola 2.5 se signál netřídí pro všechny **ONT** na trase, ale ke všem koncovým zařízením dochází data určená i pro jiné zařízení, které je třeba správně rozlišit.

V sestupném směru **OLT** provádí multiplexaci **GEM** rámců na základně přiřazení **Port-ID** a zároveň provádí dynamické přiřazení ukazatelů, které určují časové intervaly, kdy smějí jednotlivé jednotky vysílat. Jednotky identifikují časy, kdy smějí vysílat na základě **Alloc-ID**. Každá **ONT** jednotka si poté vybírá jen rámce určené pro ni na základě **Port-ID**. **GTC** funkce je realizována skrz přenosové kontejnery nebo přes **T-CONT**. Každý **T-CONT** je identifikovatelný podle **Alloc-ID**. **T-CONT** představuje logické spojení mezi **OLT** a **ONT**. Jedné **ONT** jednotce lze přiřadit jeden či více těchto **T-CONT** s různými **QoS** atributy. V doporučení [5] je definováno pět různých typů.

V doporučení je dále popsána metoda zapouzdřování **GEM**, která slouží k přenosu datových služeb skrz **PON**. Dle starších doporučení podporovala **GTC** vrstva i **ATM** rámce, které se postupem času vypustily, protože je již není třeba přenášet.

GTC vrstva podporuje přenos 8 kHz hodinového signálu z **OLT** k **ONT**. Zároveň slouží k přenosu 1 kHz referenčního signálu ve stejném směru.

Spodní podvrstva se nazývá rámcová (**GTC-F**) a má tři hlavní funkcionality. V první řadě provádí multiplexaci a demultiplexaci dat a **PLOAM** zpráv do přenášných **GTC** rámců. Další funkcí je vytvoření záhlaví a formování přenosových **GTC** rámců. Zároveň zpracovává obsah služebních a řídicích zpráv v **PLOAM** buňkách. Vrstva také plní funkci vnitřního směrování využívajícího **Alloc-ID**.

Vrchní vrstva **GTC** se nazývá adaptační (**GTC-A**) a skládá se ze dvou **TC** adaptérů. Provádí analýzu, adaptaci a rozdělení přenášných **GEM** rámců. Zároveň se stará o řídicí zprávy **OMCI**, které jsou na rozdíl od **PLOAM** určeny k řízení operací vyšších vrstev a v neposlední řadě se stará o dynamické přidělování kapacity.

Proces přidělování kapacity je velice důležitý z důvodu správné komunikace mnoha koncových zařízení s jednou centrální jednotkou. Požadavky na přidělení kapacity přichází od **ONT** jednotky ve vzestupném rámci ve služebních zprávách umístěných v **PLOAM** buňkách. V opačném směru předává **OLT** jednotka informace pomocí **OMCI** zpráv.

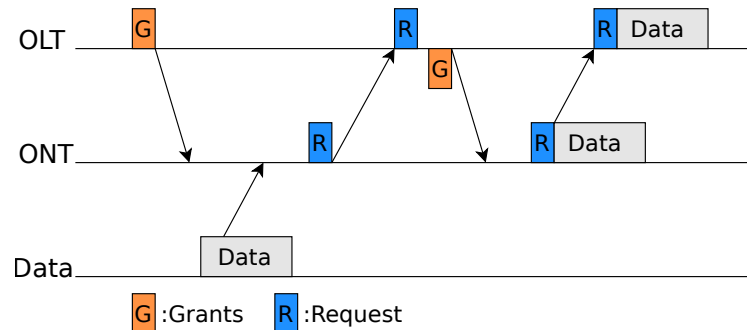
3.2.1 Dynamické přidělování kapacity

Přenosové médium je sdíleno mezi více účastníků a přenosovou kapacitu je proto nutné automaticky přidělovat pro jednotlivé účastníky. U **GPON** sítě je využito mechanismu dynamického přidělování časových intervalů (**DBA**). Koncové jednotky mají přiděleny časové intervaly, ve kterých mohou vysílat ve vzestupném směru, aby nedocházelo ke kolizím na přenosovém médiu.

Tato metoda má dvě hlavní praktické výhody. Protože dochází k velmi efektivnímu využití přenosového pásma, lze do **PON** přidat mnohem více účastníků než například u fixního přidělování. Zároveň lze pro účastníky zpřístupnit další služby, které například pracují s proměnlivou rychlostí.

Fixní přidělování kapacity (**FBA**) je metoda, kdy se pro každou jednotku alokuje tzv. přenosové okno. Přenosové pásmo je pevné a stabilní, ale pokud není aktuálně generován žádný tok, je pro celý systém velice neefektivní. Naopak u **DBA** dochází k přidělování pásma na základě potřeby. Pokud však není vhodně navržena, může navýšit zpoždění signálu na trase a zároveň zhoršit využití pásma.

Základní princip funkce **DBA** spočívá v komunikaci mezi **ONT** a **OLT**. V prvním kroku **ONT** jednotka uloží datový tok uživatele do zásobníku. Na základě toho, že chce uživatel odeslat data, vyšle jednotka požadavek na přiřazení kapacity směrem k **OLT**. **OLT** specifikuje přidělený časový interval (vysílací okno) a vyšle informaci směrem k **ONT**. Jednotka uživatele poté vyčká na přidělený interval a vyšle data, která měla uložena v zásobníku.



Obrázek 3.3: Princip dynamického přidělování kapacity - Podle [1]

Dle doporučení [5] jsou v závislosti na obsazení vyrovnávací paměti rozlišovány dvě metody **DBA**. První metoda je nazvána jako **SR-DBA** a druhá je označována **TM-DBA**. **TM-DBA** bývá někdy označováno jako **NRS-DBA**.

- **SR-DBA** - U této metody podává **ONT** jednotka odpovědi na dotazy vyžádané **OLT** jednotkou.
- **TM-DBA** - Naopak u této metody se sleduje provoz **GEM** rámců a porovnává se provoz s odpovídající přenosovou mapou. Na základě zkušeností vyhrazuje jednotkám vysílací okamžiky.

Jednotka **OLT** by měla podporovat kombinaci obou těchto metod a být schopná zpracovat informace na stejné **PON** od jednotek využívající jak **SR-DBA**, tak i **TM-DBA**.

3.2.2 Časový multiplex u GPON

V sestupném směru dochází k multiplexaci dat v centrální jednotce **OLT**. Tato jednotka multiplexuje **GEM** rámce na přenosové médium a značkuje tyto rámce pomocí **Port-ID**. Na straně **ONT** se poté provádí filtrování na základě jejich **Port-ID**, aby jednotka zpracovávala data určená pouze pro sebe.

Ve směru vzestupném je multiplexace dat distribuovaná. **OLT** přiděluje jednotkám intervaly, ve kterých mají možnost vysílat. Jednotky **ONT**, které přijímají data určená k přidělování pásma pro vzestupný směr, jsou identifikovány pomocí jejich **Alloc-ID**. S každým přidělováním pásma **ONT** používá **GEM Port-ID** jako klíč k identifikaci rámců skrz různé vzestupné spojení.

Identifikátory:

- **ONU-ID** - To je 8 bitový identifikátor, který je přidělen **ONT** při aktivaci jednotky za použití **PLOAM** kanálu. Tento identifikátor je unikátní a zůstává v platnosti i při vypnutí **ONT**, deaktivaci nebo při přechodu do neaktivního stavu.

- **Alloc-ID** - Je 12 bitové číslo přiřazované **OLT** jednotkou sloužící k identifikaci příjemce dat, určených pro přidělování pásma pro vzestupný směr. Jednotky vytvářející datový tok mohou být reprezentovány za pomoci **T-CONT**. Každá jednotka **ONT** má přiřazenou alespoň výchozí **Alloc-ID**, která je stejná jako její **ONU-ID**.
- **T-CONT** - Je to **ONT** objekt představující skupinu logických spojení, které se tváří jako jeden subjekt za účelem přidělování pásma ve vzestupném směru.
- **Port-ID** - Je 12 bitové číslo, které identifikuje jednotlivé logické spojení.

3.3 Struktura rámců

3.3.1 Sestupný směr

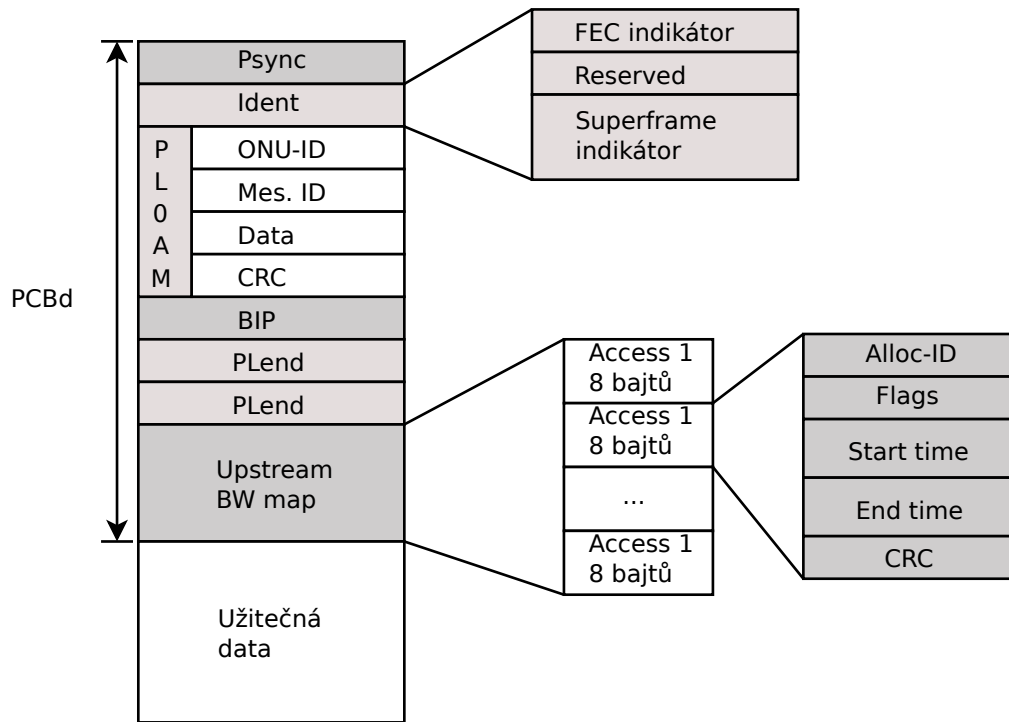
Rámce pro sestupný směr mají vždy stejnou dobu trvání, která je pevně nastavená na 125 μ s. Počet dostupných bajtů závisí na přenosové rychlosti. Pokud máme tedy například rychlost 2488.32 Mbit/s, tak odpovídající počet je 38880 bajtů. Rámec pro sestupný směr je vždy složen spojením záhlaví a uživatelských dat. Velikost záhlaví je nezávislá na přenosové rychlosti a je tedy pro obě rychlosti vždy stejná. Hlavička je tedy složena z fixní části a variabilní části.

Hlavička obsahuje kontrolní informace důležité ke správnému přístupu k médiu pro vzestupný směr v poli Upstream **BWmap**. **OLT** specifikuje čas začátku a konce vysílání pro vzestupný směr pro každý **T-CONT** a tedy i **ONT** viz. kapitola 3.2.1. Další části hlavičky jsou popsány níže.

Hlavička se skládá z několika částí:

- Upstream **BWmap** - Alokace rychlostí pro vzestupný směr pro každou připojenou **ONT** jednotku. Velikost je závislá na počtu připojených **ONT** jednotek, kdy každá z nich zabere 8 bajtů ($N \times 8$ bajtů). V této části **OLT** specifikuje začátek a konec každého **T-CONT**, který může použít k přenosu ve vzestupném směru.
- **PLend** - Tato část je zde dvakrát a nachází se v nich informace o délce Upstream **BWmap** a o délce **ATM** části (2x z bezpečnostních důvodů). Tato část je variabilní podobně jako Upstream **BWmap**.
- **BIP** - Jeden paritní bit.
- **PLOAMd** - Pomocné a řídicí zprávy při komunikaci s **ONT** jednotkou. Pomocí těchto zpráv dochází k registracím a odhlášením **ONT** jednotek, k nastavení optimální vysílací úrovně **ONU** jednotek, k aktualizaci klíče, rangingu, atd.
- Ident - Čtyři bajty velká identifikační část s 30 bitovým čítačem k šifrování uživatelských dat a k synchronizaci systému s odlišnými rychlostmi, bit pro identifikaci **FEC** a jeden rezervní bit.
- **PSync** - Fyzická synchronizace ke správnému určení počátku sestupného rámce a k odvození rámcové synchronizace.

Každých 8 bajtů **BWmap** obsahuje **Alloc-ID**, časový údaj o možném začátku a konci vysílání pro vzestupný směr. Dále obsahuje 12 bitů velké pole, které udává, jaká alokace by měla být použita.

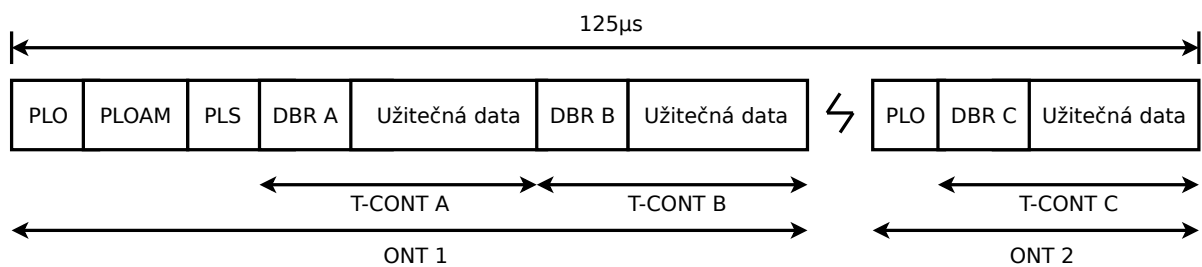


Obrázek 3.4: Složení rámce pro sestupný směr - Podle [1]

3.3.2 Vzestupný směr

Rámce pro vzestupný směr mají také pevnou délku $125 \mu s$. Skládají se z hlavičky a užitečných dat od jednotlivých **ONT** jednotek. Rámce pro vzestupný směr jsou složeny z dat od různých **ONT**. Každá takováto dávka dat začíná polem **PLO**. Za tímto polem následují pole **PLOAM**, **PLS** a **DBR**.

Jak již bylo řečeno v kapitole 3.2, tak jedna **ONT** jednotka může mít přiřazeno více **T-CONT**. V případě, že chce **ONT** jednotka přenosové pásmo využít pro přenos více **T-CONT** s jiným **Alloc-ID** tak stačí, když se objeví **PLO** pole v každé dávce dat od jednoho **ONT** pouze jednou. Na obrázku (Obr. 3.5) lze vidět složení rámce od více **ONT**.



Obrázek 3.5: Složení rámce pro vzestupný směr - Podle [1]

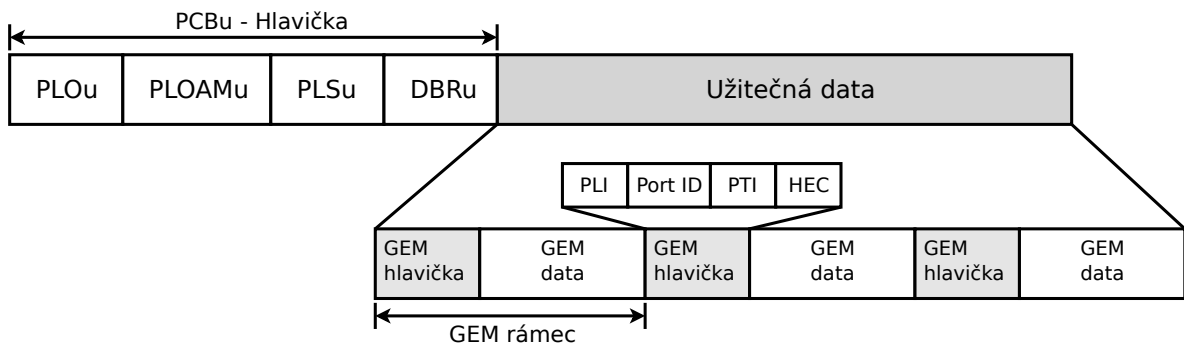
Přenos těchto polí určuje **OLT** skrz flag bity v Upstream **BWmap** v záhlaví rámce pro sestupný směr viz. kapitola 3.3.1. Pole **DBRu** je svázáno s každým **T-CONT** a obsahuje zprávy, které jsou využity k indikaci délky fronty pro **DBA**.

Jsou tři možnosti, jak může **ONT** jednotka informovat **OLT** o tom, že chce přidělit kapacitu pro data, která chce odeslat směrem k **OLT**. V systému **GPON** však nejsou všechny podporovány.

1. Za pomoci bitů v poli **PLOu**. Díky tomu dostane **OLT** informaci o tom jaká data čekají a další důležité informace.
2. Za pomoci zpráv umístěných v polích **DBRu**. Zde mohou mít zprávy tři různé mody, které zároveň určují velikost těchto polí. Díky těmto zprávám lze nepřetržitě aktualizovat provoz vybraných **T-CONT**.
3. **ONT** může poslat jednoúčelovou zprávu o aktuálním provozu na jednotlivých či všech **T-CONT** v části rámce určeném pro užitečná data.

Hlavička je složená ze čtyř částí:

- **PLOu** - Obsahuje bajty, které určují počátky rámců z důvodu synchronizace. Dále bitovou paritu, identifikaci jednotlivých koncových **ONT** jednotek a indikaci čekajících dat.
- **PLOAMu** - **PLOAM** část je velká 13 bajtů a obsahuje služební zprávy.
- **PLSu** - Tato část odesílaná **ONT** jednotkou, slouží převážně k nastavení výkonových úrovní.
- **DBRu** - Slouží k nastavení přenosových rychlostí ve vzestupném směru.



Obrázek 3.6: Složení rámce pro vzestupný směr - Podle [1] a [5]

3.3.3 Metoda zapouzdřování GEM

V sestupném směru jsou **GEM** rámce součástí pole určeného pro užitečná data v rámci **GTC**. Ve směru vzestupném je tomu stejně. Metoda zapouzdřování má dva hlavní účely a to multiplexaci **GEM** portů a fragmentaci užitečných dat.

GEM rámce jsou složeny ze dvou hlavních částí. V první řadě je to hlavička obsahující pole **PLI**, které specifikuje velikost dat v druhé části **GEM** rámce určené pro užitečná data.

Maximální velikost této oblasti pro data je 4095 bajtů. Větší oblasti přesahující tuto maximální hodnotu jsou poté fragmentovány do více rámců. Další částí hlavičky je pole **PTI**, které určuje jakého typu je **GEM** rámeček. Zároveň určuje, zda-li je rámeček posledním fragmentem při zmiňované fragmentaci. Dále zahlaví obsahuje **Port-ID** důležité pro funkci multiplexace provozu. Poslední částí je pole **HEC**, které plní funkci detekce chyb a korekci funkčnosti hlavičky a zároveň se využívá k rámcové synchronizaci. Složení **GEM** rámečku a položky **GEM** hlavičky jsou vidět z obrázku (Obr. 3.6).

3.4 FEC v GPON technologii

FEC neboli dopředná korekce chyb je využívána transportní vrstvou a je založená na vysílání dat v kódovaném tvaru. Kódování zanáší k přenášeným datům nadbytečnou informaci, která slouží na straně dekodéru k detekci a korekci chyb při přenosu dat. Dle [5], pokud bychom měli bitovou chybovost např. 10^{-5} , tak díky použití **FEC** můžeme dosáhnout hodnoty až 10^{-15} . Z toho vyplývá, že lze dosáhnout při přenosu nízkých chybovostí a lze se tak vyhnout nutnosti opakovaného vysílání dat.

Díky tomu lze samozřejmě dosáhnout lepších parametrů pro přenos v podobě větších přenosových rychlostí, možné překlenutelné vzdálenosti nebo větších rozbočovacích poměrů.

Pro funkci **FEC** se využívá *Reed-Solomonova* kódu (**RS**). Ten patří mezi blokové kódy, které vezmou blok dat konstantní délky a přidají k němu nakonec paritu, díky čemuž vznikne kódové slovo. Nejčastějším případem **RS** je (255,239), kdy 255 bajtové kódové slovo obsahuje 239 bajtů pro data a 16 bajtů pro paritu.

Pokud by jedna strana nepodporovala **FEC**, tak prostě část parity bude ignorovat a data zpracuje normálním procesem. Řešení **FEC** proto musí obsahovat podporu komunikace, při které některé jednotky **ONT** budou kódování podporovat a některé ne.

Ve směru sestupném by tedy měla být zpřístupněna podpora pro zapnutí či vypnutí **FEC**. Informace o tom, zda-li je kódování používáno, je obsažena v poli Ident sestupného rámečku. Ve směru vzestupném je informace o tom, zda-li se **FEC** bude využívat, obsažena v bitu Use_FEC obsaženém v poli s flag bity.

4 XGPON dle ITU-T G.987

Technologie **XGPON** je popsána v doporučení ITU-T G.987 a z velké části vychází z varianty **GPON** popsané v kapitole 3. Hlavním požadavkem při vývoji této varianty byla současná koexistence právě s touto vývojově starší variantou. Díky těmto vlastnostem nebude třeba investovat při inovaci sítě na rychlejší variantu jednorázově tolik výdajů a bude tedy možné přecházet na nový systém postupně.

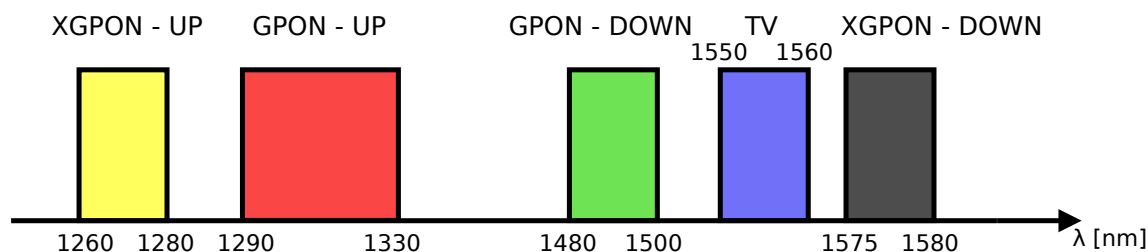
Hlavním předpokladem pro vývoj varianty **XGPON** byla již nedostačující varianta **GPON** a to zejména ze strany přenosových rychlostí. Je třeba si uvědomit, že zákazníci jsou čím dál náročnější a při současném trendu nárůstu přenosových rychlostí a zákazníků, je třeba pro uspokojení potřeb zákazníků stále zlepšovat technologie zejména na straně poskytovatele.

Moderním trendem dnešní doby jsou metody úspory energie. Proto v této variantě došlo k zavedení trojice úsporných režimů, které zajistí úsporu energie u koncových **ONT** jednotek.

4.1 Parametry na fyzické vrstvě

Mezi hlavní rozdíly lze zařadit pásma vlnových délek, které se používají pro přenos signálu. Z důvodu vzájemné koexistence obou variant bylo třeba oddělit provoz. Pro přenos v sestupném směru se využívá dle [8] pásma vlnových délek 1575-1580 nm a ve směru vzestupném pásmo 1260-1280 nm. Původní pásmo 1260-1360 nm tak muselo být zúženo na 1290-1330 nm. Tuto změnu bylo potřeba promítnout do doporučení ITU-T G.984 doplňkovým dokumentem s označením G.984.5. V tomto doplňku je popsána nutnost použití vlnové výhybky **WDM1r**, jak před jednotkou **OLT**, ale i u **ONT** jednotek. S tím je však třeba počítat již při útlumové bilanci trasy, protože tyto filtry vkládají do systému značný útlum. Objevuje se zde také pásmo 1550-1560 nm vyhrazené pro přenos videa. Použitá pásma obou variant jsou shrnuta na obrázku (Obr. 4.1).

Přenosová rychlost lze nastavit na nesymetrickou variantu, nazývanou **XGPON1**, 10 Gbit/s (sestupný) / 2,5 Gbit/s (vzestupný). Druhou možností je symetrická varianta **XGPON2** s rychlostmi 10/10 Gbit/s. Dále došlo k rozšíření útlumových tříd a zabezpečení přenosu služebních zpráv. **ONT** jednotky dokáží pracovat v různých energeticky úsporných režimech.



Obrázek 4.1: Koexistence GPON a XGPON varianty v přenosovém pásmu - Podle [6]

Při tvorbě útlumových tříd u této varianty, bylo využito zkušeností, které přineslo reálné nasazení varianty **GPON**. Více méně se zjistilo, že již není třeba nižších útlumových tříd,

protože průměrná hodnota útlumu trasy se pohybuje okolo hodnoty 28 dB. Výše již bylo předestřeno, že z důvodu kooperace s variantou GPON je třeba použít vlnových filtrů, které vykazují nezanedbatelný útlum. Zároveň je třeba počítat s tím, že došlo ve vzestupném směru k posunu používaných vlnových délek směrem k nižším hodnotám, čímž dochází k nárůstu hodnoty měrného útlumu. Z těchto důvodů byly vytvořeny nové útlumové třídy.

Tabulka 4.1: Útlumové třídy varianty XGPON

Třída	Útlum [dB]
Nominal 1	14 - 29
Nominal 2	16 - 31
Extended 1	18 - 33
Extended 2	20 - 35

Opět se zde využívá na druhé vrstvě OSI modelu NRZ kódování a skramblování. Oproti variantě GPON však došlo k dvojnásobnému navýšení maximálního rozbočovacího poměru na hodnotu 1:256. Maximální dosažitelná fyzická vzdálenost byla opět stanovena na 20 km, ale udává se, že lze dosáhnout i dvojnásobné vzdálenosti (40 km).

4.2 Vlastnosti XGTC vrstvy

Ve vrstevném modelu varianty XGPON došlo k několika změnám v porovnání s variantou GPON. Popis těchto vrstev je uveden v doporučení [10]. Jako první se zde objevuje fyzická adaptační podvrstva, která provádí v první řadě překódování přijímaných a odesílaných dat a zajišťuje bezchybný příjem dat. Na tuto vrstvu navazuje rámcová podvrstva, která je zodpovědná za konstrukci a spojování XGTC rámců. Tyto XGTC rámce jsou tvořeny XGEM rámci, které jsou složeny z hlavičky a z části pro data. Tuto část zpracovává servisní podvrstva, která uživatelská data zapouzdřuje do XGEM rámců.

4.2.1 XGTC servisní adaptační vrstva

Na straně vysílače je tato vrstva v první řadě zodpovědná za zapouzdřování uživatelských dat reprezentovaných datovými rámci a OMCI služebním provozem. Datové rámce je třeba fragmentovat, přiřazovat jim XGEM Port-ID a zapouzdřovat je do XGEM rámců. Data ukládaná do XGEM rámců mohou být v optimální případě šifrovány. Série XGEM rámců tvoří část určenou pro data u XGTC rámce v sestupném směru či XGTC dávku ve vzestupném směru.

Na straně přijímače adaptační vrstva zpracovává data obsažená v XGTC rámci a filtruje je na základě Port-ID, případně dešifruje a přijímaná fragmentovaná data sestavuje do původních datových rámců a předává je na stranu klienta.

4.2.2 XGTC rámcová podvrstva

Tato vrstva je zodpovědná za konstrukci a rozbor hlaviček pro XGTC rámce. Na straně vysílače přijímá sérii XGEM rámců, ze které vytváří obsah pro datové pole XGTC rámce, tak že vloží do hlavičky PLOAM a OAM pole. Velikost datového pole XGTC rámce v sestupném

směru je variabilní a podobně jako u GPON je závislé na velikosti pole Upstream BWmap. Ve směru vzestupném multiplexuje XGTC užitečná data s více Alloc-ID.

Na straně přijímače přijímá tato vrstva XGTC rámce a analyzuje hlavičky těchto rámců.

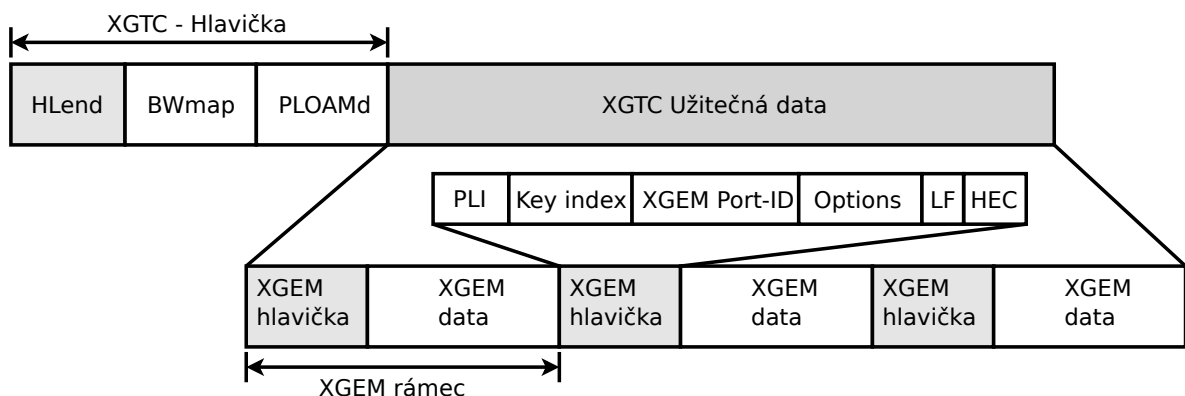
4.2.3 XGTC fyzická adaptační vrstva

Na straně vysílače dostává od servisní adaptační vrstvy XGTC rámce, ze kterých tvoří FEC datové bloky následované paritou, kterou musí nejprve spočítat. Tyto bloky posléze tvoří FEC kódová slova, která jsou obsahem skramblovaných dat umístěných v poli pro užitečná data již přenášených fyzických rámců. K těm je přidán blok pro synchronizaci PSBd (sestupný směr) či PSBu (vzestupný směr).

Na straně přijímače provádí synchronizaci, deskrambluje obsah těchto rámců, provádí FEC a odstraňuje informaci o paritě. Výsledné XGTC rámce předává rámcové vrstvě.

4.2.4 Struktura rámce pro sestupný směr

V sestupném směru má rámeček pevnou délku 135 432 bajtů a je složen z hlavičky a pole pro data. Hlavička je vytvářena na straně vysílače a zpracovávána na straně přijímače. Hlavička je složena z fixní části a dvou částí s variabilní délkou. Strukturu rámce lze vidět na obrázku (Obr. 4.2).



Obrázek 4.2: Složení XGTC rámce pro sestupný směr - Podle [10]

Fixní část tvoří pole HLen, které má velikost 4 bajty a řídí velikosti polí s variabilní délkou. Obsahuje tři položky, kdy první obsahuje 11 bitové číslo indikující počet alokovaných struktur pole BWmap. Dále obsahuje 8 bitové číslo indikující velikost PLOAM zprávy. Posledním číslem je 13 bitové pro účely HEC.

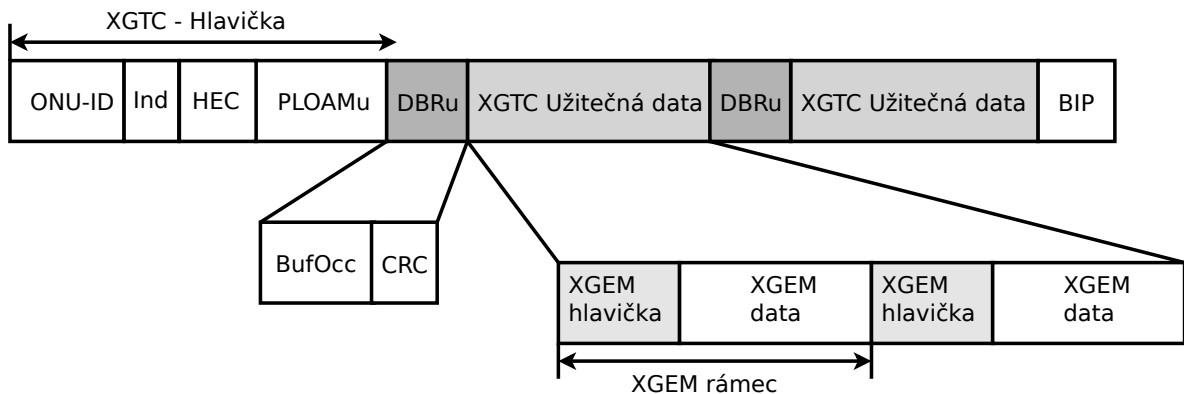
První variabilní část tvoří pole BWmap. To má stejnou funkci jako u varianty GPON. Je tvořeno 8 bajtovými alokačními strukturami. Ty obsahují informaci o Alloc-ID a přiděleném časovém intervalu pro vysílání ve vzestupném směru.

Další variabilní částí je pole PLOAMd, které obsahuje zprávy PLOAM. Nemusí však obsahovat žádné zprávy. Délka jedné zprávy je 48 bajtů.

4.2.5 Struktura rámce pro vzestupný směr

Rámeček pro vzestupný směr je tvořen hlavičkou, dávkou dat a paritou. Hlavička je tvořena z fixní a nefixní části. Fixní část je tvořena polem pro ONU-ID, Ind a HEC. Nefixní část

obsahuje pole **PLOAM**, které může být prázdné nebo velké 48 bajtů. Na hlavičku navazuje pole **DBRu**, které je složené z pole **BufOcc** a **CRC**.



Obrázek 4.3: Složení XGTC rámce pro vzestupný směr - Podle [10]

Jak již bylo řečeno výše, tak datová část **XGTC** rámce je tvořena **XGEM** rámci. **XGEM** rámce jsou tvořeny hlavičkou a částí pro data. Hlavička má velikost 8 bajtů a její složení lze vidět na obrázku (Obr. 4.2).

4.3 Časový multiplex u XGPON

Princip časového multiplexu je stejný jako u **GPON**. Data směřují v sestupném směru ke všem jednotkám, které je na základě **XGEM Port-ID** identifikují a dochází tak k filtraci provozu. Spojení mezi **OLT** a **ONT** je popisováno **XGEM** portem, kdy k jedné jednotce **ONT** může být směrováno více takovýchto portů.

Ve směru vzestupném jednotky vytváří datové toky samostatně a mají vždy přidělené určité časové okamžiky, ve kterých mohou vysílat. Jednotky jsou identifikovány na základě **Alloc-ID**.

Identifikátory:

- **ONU-ID** - Je 10 bitové číslo přiřazené jednotce **ONT** při aktivaci jednotky za pomoci **PLOAM** kanálu. Oproti **GPON** došlo jen k navýšení velikosti tohoto identifikátoru.
- **Alloc-ID** - Zde došlo opět ke změně velikosti na 14 bitů. Funkce identifikátoru je stejná jako u **GPON**
- **XGEM Port-ID** - Opět došlo ke změně velikosti na 16 bitů. Funkce je stejná.

4.4 Zhodnocení

V následující tabulce (Tab. 4.2) jsou shrnuty hlavní rozdíly popisovaných variant. Je zde vidět, že hlavní změnou při vývoji bylo navýšení maximální přenosové rychlosti v sestupném směru a zvětšení maximálního rozdělovacího poměru. Vlnové délky bylo potřeba přizpůsobit větším rychlostem a zároveň zachovat možnost vzájemné koexistence obou variant v reálném prostředí.

Tabulka 4.2: Hlavní rozdíly mezi GPON a XGPON variantou

Parametry	GPON	XGPON
Max. rychlosti [Gbit/s]	2,5 / 2,5	10 / 10 (XGPON2)
Vlnové délky - vzestupný [nm]	1260 - 1360 (1290 - 1330)	1260 - 1280
Vlnové délky - sestupný [nm]	1480 - 1500	1575 - 1580
Dosažitelná fyz. vzdálenost [km]	20	20 (lze dosáhnout i 40)
Překódování	NRZ, skramblování	NRZ, skramblování
Maximální rozdělovací poměr	1:64(128)	1:256

5 Zařízení Huawei

5.1 MA5603T

V praktické části práce jsem pracoval na zařízeních firmy Huawei. Hlavní komponentou bylo **OLT** s označením SmartAX MA5603T. Je to jedno z rodiny zařízení určených pro optické přístupové sítě využívající technologii **GPON**. Firma Huawei vyrábí toto zařízení ve dvou verzích, které se liší v počtu servisních slotů. Zařízení s označením MA5600T má těchto slotů 16, zatímco mnou používané zařízení jich mělo 6. Tyto dvě zařízení jsou navzájem plně kompatibilní. Technologie se vyznačuje oblastí použití v přístupových sítích a možností efektivního nasazení tzv. triple play služeb.

V laboratorní místnosti jsem měl tedy k dispozici zařízení s označením MA5603T. Tato technologie je určena pro **GPON** přístup. Plní funkci **OLT** pro připojování koncových **ONU** či **ONT**. Zařízení lze umístit do klasického serverového racku, kdy výška je 6U.

Tabulka 5.1: Parametry OLT MA5603T

Parametr	Vlastnosti
Přepínací kapacita	1,5 Tbit/s
Max. počet 10GE uplink portů	4
Max. počet GPON portů	48
Max. počet GPON uživatelů	6144
Routovací protokoly	OSPF,RIP,BGP
Podpora IPv6	ano
Podpora DHCP	ano (relay/proxy)
Podpora Multicast	ano (IGMP, IGMP snooping, PIM SSM)

Bez přídatných karet je jednotka téměř nepoužitelná pro reálné nasazení. Zařízení obsahuje sloty, do kterých se umísťují karty, které ho obohacují o přístupové technologie. Do slotů lze umístit např. **GPON** a **EPON** karty, ale i karty určené pro **xDSL** technologie.



Obrázek 5.1: OLT MA5603T - Zdroj [12]

Na obrázku 5.1 lze vidět zařízení plně osazené 6-ti **GPON** kartami, což odpovídá maximálnímu počtu, na které jsme schopni tuto verzi zařízení osadit.

5.1.1 GPON karta

Tato karta patří mezi servisní desky a umísťuje se do **OLT** zařízení MA5603T. Lze však umístit i do dalších zařízení k tomu určených. Deska je identifikovatelná pod označením GPBC (4x **GPON** port) nebo GPBD (8x **GPON** port). V mém případě jsem měl k dispozici desku s osmi porty s označením H802GPBD. Deska je primárně určena pro přístupové sítě typu **GPON**. Maximální spotřeba této desky má hodnotu 55 W. Karta byla umístěna ve slotu číslo jedna.



Obrázek 5.2: Foto GPON karty umístěné v laboratoři - Zdroj: *Autor*

Počet uživatelů, které lze připojit na jeden port, je roven hodnotě 128. K jedné kartě použitého typu lze tedy připojit až 1024 uživatelů. Porty je třeba osadit **SFP** moduly, do kterých se připojuje optické vlákno jednoduše pomocí konektorů.

5.1.2 GE karta pro uplink

Tato karta byla umístěna ve slotu číslo devět s označením H801GICF. Opět obsahovala sloty, které je třeba osadit **SFP** moduly. V tomto případě jsem měl k dispozici dva ethernetové porty s rychlostmi maximálně 1 Gbit/s na jeden port. Ve výchozím nastavení jsou porty přiřazeny do **VLAN** 1.

Porty jsem využil k propojení zařízení **OLT** se směrovačem a serverem multicastového tv vysílání. Karta plní funkci přepínače s dvěma fyzickými porty.

5.2 ONT jednotky

Jako koncové **ONT** jednotky jsem využil zařízení řady EchoLife od firmy Huawei. Jsou to jednotky určené pro **GPON** technologie a slouží jako přístupové zařízení k síti na straně koncového uživatele. K dispozici jsem měl jednotky s označením HG8010, které disponují jedním gigabitovým portem, a dále jednotky HG8245 které obsahují 4 gigabitové porty a dva **POTS**.

Jednotky lze konfigurovat ze strany poskytovatele přímo ze zařízení **OLT**. Na zařízení lze však přistoupit i přímo přes webové rozhraní. Ve výchozím nastavení má zařízení nastavenou statickou **IP** adresu. Stačí tedy nastavit na připojeném počítači **IP** adresu ze stejné sítě a poté již lze provádět konfiguraci zařízení přes webové rozhraní.

Firma Huawei jednotky vyrábí v několika různých verzích, které se odlišují v dostupných parametrech. Já jsem měl k dispozici zařízení s označením HG8010 a HG8245.

5.2.1 HG8010

Zařízení tohoto typu patří mezi nejjednodušší z hlediska konstrukce a parametrů. Dokáže však zpřístupnit jak datové služby, tak i **VoIP** a **IPTV**. Zařízení spadá do útlumové třídy B+

viz. kapitola 3.1.2. Disponuje jedním fyzickým portem typu ethernet s maximální rychlostí 1 Gbit/s. Vyznačuje se také nízkým odběrem energie.



Obrázek 5.3: ONT jednotka Huawei HG8010 - Zdroj [13]

5.2.2 HG8245

Oproti předchozímu typu mnohem inteligentnější zařízení, které však plní stejnou funkci jako zařízení výše. Po fyzické stránce obsahuje čtyři ethernetové porty. Dále dva POTS porty a jeden USB. Zařízení také disponuje Wi-Fi dle standardu IEEE 802.11b/g/n. Opět spadá do útlumové třídy B+ viz. kapitola 3.1.2.



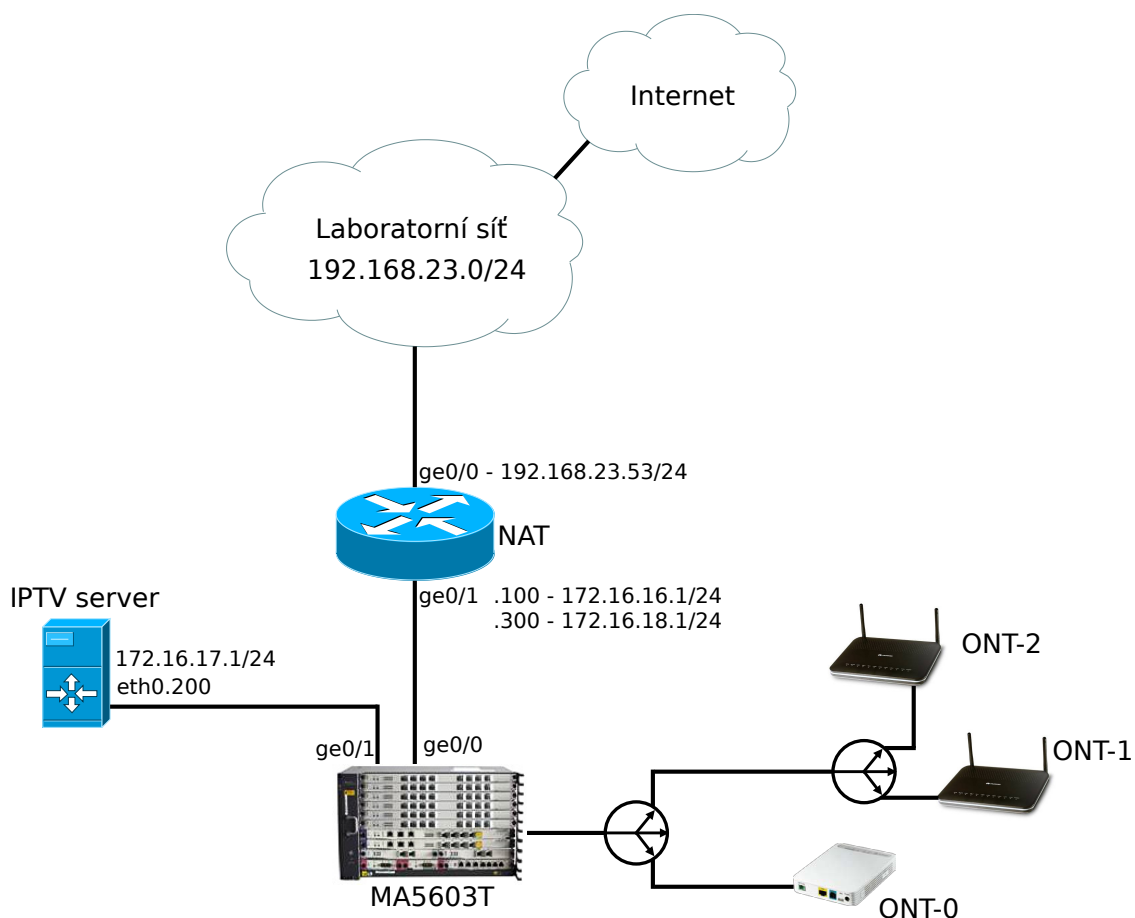
Obrázek 5.4: ONT jednotka Huawei HG8245 - Zdroj [15]

6 Konfigurace zařízení

6.1 Měřené zapojení

V první fázi měření bylo třeba provést zapojení jednotlivých komponent dle navrženého schématu. Navržená topologie má stromovou strukturu. Pro poskytování jednotlivých služeb koncovým uživatelům je potřebné nejprve zajistit připojení **OLT** k síti internet. Toho jsem docílil připojením do již vytvořené laboratorní sítě v učebně. **OLT** je umístěné v racku, kde se nachází přepínač, který je připojen do školní sítě a tedy i k internetu.

Z místního přepínače je konektivita připojena na směrovač značky Cisco, na kterém je proveden překlad adres (**NAT**). Tímto způsobem je oddělena vytvořená síť od sítě laboratorní. Směrovač plní funkce **DHCP** serveru a zmiňovaného oddělení sítí za pomoci **NAT**. Dále je směrovač propojen přímo se zařízením **OLT** pomocí technologie ethernet. Používané **OLT** mělo jednu **GPON** kartu s 8 porty. V několika portech byly umístěny **SFP** optické moduly. Z těchto portů se již mohla připojit koncová zařízení zákazníků. Zároveň obsahovalo kartu s dvěma ethernetovými porty, které jsem využil jak pro zmiňované propojení se směrovačem, tak i pro připojení streamovacího serveru.



Obrázek 6.1: Měřené zapojení - Zdroj [12],[14] a [20]

Mezi **OLT** a **ONT** jednotkami je vystavěna pasivní optická síť tvořená jednovidovými vlákny a pasivními rozbočovači. Pro testovací účely jsem připojil za cca dvoumetrový kabel první rozbočovač, do kterého byla připojena první **ONT** jednotka. Z druhého portu rozbočovače bylo připojeno cca 1600 m optického vlákna, na jehož druhém konci byl připojen další rozbočovač. Z druhého rozbočovače jsem připojil zbylé dvě **ONT** jednotky.

6.1.1 Návrh konfigurace ONT

Před samotnou konfigurací jednotlivých zařízení jsem si rozmyslel, jaké služby poběží na jednotlivých koncových **ONT**. Protože jedna z jednotek obsahovala pouze jeden ethernetový port, rozhodl jsem se, že na tuto jednotku nastavím pouze datovou službu pro přístup k internetu. Zbylé dvě jednotky obsahují více portů, a proto jsem na nich mohl jednoduše simulovat funkci více různých tzv. triple play služeb pro jednoho koncového zákazníka.

Na každé jednotce jsem tedy nastavil vždy jeden port pro přístup k internetu. U všech jednotek se jednalo o port číslo jedna, což souhlasí s označením jak při konfiguraci **OLT**, tak se značením přímo na fyzickém zařízení.

Tabulka 6.1: Přehled datových služeb

Název jednotky	Onu_0	Onu_1	Onu_2
Tarif	Internet_plus	Internet_start	Internet_fire
Rychlost (downstream)[Mbit/s]	60	40	80
Rychlost (upstream)[Mbit/s]	60	40	40
Eth. port č.	1	1	1

Z hlediska přenosových rychlostí jsem vytvořil tři profily s různými limity, jak lze vidět v tabulce výše (Tab. 6.1). Z těchto profilů jsem poté nakombinoval pro každou jednotku jiné parametry a to v podobě dvou symetrických datových tarifů a jednoho asymetrického. Jednotka s označením Onu_0 měla tedy nastavené pouze datové služby v symetrickém provedení přenosových rychlostí.

Na jednotce s označením Onu_1 a Onu_2 jsem měl k dispozici další ethernetové porty. Na prvně jmenované jsem na další ethernetový port nastavil služby **IPTV** s asymetrickým typem přenosových rychlostí v příslušných směrech. Rychlost s rezervou odpovídá nutným přenosovým rychlostem pro vysílání ve vysokém rozlišení. Stejný profil jsem nastavil i na jednotku Onu_2 na port číslo 2.

Nakonec jsem ještě vytvořil na jednotce s označením Onu_2 třetí port pro přístup ke službě VoIP, s přenosovou kapacitou 2 Mbit/s v obou směrech. Navržená přenosová kapacita má velkou rezervu a nebyl by problém obsloužit několik hovorů ve stejný okamžik.

Tabulka 6.2: Přehled video a hlasových služeb

Název jednotky	Onu_1	Onu_2	Onu_2
Služba	IPTV	IPTV	VoIP
Rychlost (downstream)[Mbit/s]	20	20	2
Rychlost (upstream)[Mbit/s]	5	5	2
Eth. port č.	2	2	3

6.2 Konfigurace směrovače

Po správném zapojení všech prvků jsem přešel ke konfiguraci jednotlivých zařízení. Nejprve bylo třeba správně nakonfigurovat použitý směrovač. V racku jsem měl k dispozici zařízení firmy Cisco řady 2901. Na zařízení byly k dispozici dva fyzické ethernetové porty s označením GigabitEthernet0/0 a GigabitEthernet0/1. První z jmenovaných je použit ve směru k laboratorní síti. Má staticky přiřazenou IP adresu z rozsahu sítě 192.168.23.0/24. Tento port je poté nastaven jako odchozí při překladu adres. Pro správnou funkčnost je třeba také nastavit výchozí bránu.

```
Router(config)#ip nat inside source list ACL-PRO-NAT interface GigabitEthernet0/0 overload
Router(config)#ip access-list extended ACL-PRO-NAT
Router(config-ext-nacl)#permit ip any any
Router(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.23.1
```

Dále lze vidět zmiňované nastavení portu směrem k laboratorní síti.

```
Router(config)#interface GigabitEthernet0/0
Router(config-if)#ip address 192.168.23.53 255.255.255.0
Router(config-if)#ip nat outside
Router(config-if)#ip virtual-reassembly in
```

Pro jednotlivé poskytované služby je využito oddělení provozu pomocí VLAN. Ty se přiřazují vždy k danému fyzickému portu, což je v našem případě port s označením GigabitEthernet0/1. V následující ukázce lze vidět přidání VLAN s ID 100. Stejná konfigurace je poté provedena i pro VLAN s ID 300.

Při konfiguraci těchto rozhraní jsem provedl izolaci provozu mezi jednotlivými VLANy. V základním nastavení směrovače, po přiřazení IP adresy na virtuální rozhraní, dochází k tzv. inter-VLAN routing, který způsobí to, že lze mezi jednotlivými zařízeními komunikovat na L3 vrstvě. Z těchto důvodů je třeba stanovit určitá pravidla, která tento provoz omezí. V méj konfiguraci jsem využil ACL. Níže lze vidět, že například provoz, který přichází na rozhraní s VLAN 100, ze sítě použité pro jinou službu, je blokován.

```
Router(config)#interface GigabitEthernet0/1.100
Router(config-if)#encapsulation dot1q 100
Router(config-if)#ip address 172.16.16.1 255.255.255.0
Router(config-if)#ip nat inside
Router(config-if)#ip virtual-reassembly in
Router(config-if)#ip access-group 101 in
Router(config)#access-list 101 deny ip any 172.16.18.0 0.0.0.255
Router(config)#access-list 101 permit ip any any
```

Pro jednotlivé virtuální sítě je poté možné vytvořit samostatný DHCP server pro přiřazování IP adres jednotlivým zařízením v příslušné virtuální síti. Pro VLAN 100 a 300 je vytvořen pro testovací účely DHCP server přiřazující adresy v rozsahu 172.16.16.0/24 a 172.16.18.0/24, tedy 254 použitelnými adresami pro přiřazení v příslušné VLAN. Adresa končící číslem jedna je použita jako IP adresa daného virtuálního rozhraní na směrovači a adresa končící číslem dva je použita pro virtuální rozhraní stejné VLAN na zařízení MA5603T. Z těchto důvodů je třeba explicitně nastavit DHCP serveru, aby tyto adresy nepřřiřazoval. Adresy ve tvaru 172.16.x.1/24 jsou poté přiřazeny koncovým zařízením jako výchozí brány. DNS server jsem nastavil laboratorní.

```
Router(config)#ip dhcp pool vnitřni-sit-172.16.16.0
Router(dhcp-config)#description Smer-VLAN100-k-MA5603T
Router(dhcp-config)#network 172.16.16.0 255.255.255.0
Router(dhcp-config)#default-router 172.16.16.1
Router(dhcp-config)#dns-server 192.168.10.1
Router(config)#ip dhcp excluded-address 172.16.16.1 172.16.16.2
```

6.3 Konfigurace OLT MA5603T

Konfiguraci **OLT** zařízení od firmy Huawei lze provádět dvěma způsoby. Jednou z možností je využití grafického softwaru od výrobce zařízení Huawei iManager U2000, kterou jsem nakonec zavrhnul zejména z důvodu rozdílných verzí firmware a verze softwaru. Software z části nedokázal ovládat všechny dostupné funkce **OLT**. Druhou možností je konfigurace pomocí **CLI** příkazů přes terminálové prostředí. K zařízení lze přistoupit např. přes protokol telnet nebo ssh.

6.3.1 Nastavení VLAN

Při konfiguraci směrovače jsem provoz rozdělil do **VLAN**, z čehož vyplývá, že k **OLT** přicházejí značkové rámce dle standardu **IEEE 802.1q**. I na tomto zařízení je třeba nakonfigurovat správně přiřazení jednotlivých fyzických portů do příslušných **VLAN**. K dispozici jsem měl dva ethernetové porty, kde jsem jeden využil k propojení se směrovačem a jeden ke spojení s **IPTV** serverem.

Z toho vyplývá, že port, který slouží k propojení se směrovačem, je třeba nastavit do **VLAN 100** a **300**. Toho lze docílit následujícím sledem příkazů. Nejprve je nutné **VLAN** s příslušným ID vytvořit a následně přiřadit fyzický port. I zde lze provést nastavení **IP** adresy danému virtuálnímu rozhraní.

```
MA5603T(config)#vlan 100 smart
MA5603T(config)#port vlan 100 0/9 0
MA5603T(config-if-vlanif300)#ip address 172.16.16.2 24
```

Zároveň jsem port 0/9/1 přidal do **VLAN 200**. **VLAN** s tímto ID jsem využil pro oddělení provozu **IPTV**. Fyzický port streamovacího serveru bylo potřeba také přidat do této **VLAN**.

6.3.2 Vytvoření profilů

Pro správné nastavení a chod **ONT** jednotek je třeba nejprve vytvořit několik různých profilů. Každý zákazník má jiné požadavky na poskytované služby a zařízení k tomu určené. Různým nastavením zmiňovaných profilů jsme schopni tyto požadavky splnit.

Před samotným přidáním jednotky je výhodné vytvořit servisní a linkový profil. S linkovým profilem dále souvisí vytvoření **DBA** profilu. Tento profil slouží k dynamickému přidělování šířky pásma ve vzestupném směru. Já jsem vytvořil jeden profil, ve kterém jsem fixně nastavil šířku pásma na 100 Mbit/s. Rychlost uživatele jsem totiž omezoval pomocí traffic profilů.

Linkový profil slouží ke konfiguraci **DBA**, **T-CONT** a **GEM**. Při jeho vytváření je třeba přiřadit jednotlivým **T-CONT** vytvořené **DBA** profily.

Servisní profil definuje v první řadě počet fyzických rozhraní na koncovém **ONT** zákazníka. Při jeho vytváření je třeba pouze specifikovat, které a kolik těchto rozhraní bude dané zařízení obsahovat. Protože jsem používal zařízení dvou typů a zároveň na každém jiné služby, vytvořil jsem pro ilustraci více rozdílných profilů viz. následující tabulka (Tab. 6.3).

Tabulka 6.3: Vytvořené servisní profily

id	name	eth	pots
100	Srv_onu_0	1	0
101	Srv_onu_1	4	0
102	Srv_onu_2	4	2

Nakonec jsem vytvořil několik traffic profilů, které ve výsledku určují přenosové rychlosti jednotlivých služeb pro koncové zákazníky. Při vytváření je třeba zadat index, pod kterým lze provádět další úpravy profilu. Dále je třeba doplnit název, prioritu a hlavně hodnotu **CIR** neboli zajištěnou přenosovou rychlost a **PIR** maximální přenosovou rychlost. Vytvořené profily jsem opět shrnul níže do tabulky (Tab. 6.4).

Tabulka 6.4: Vytvořené traffic profily

index	name	priority	CIR	PIR
100	Internet_plus	1	40	60
101	Internet_start	1	30	40
102	IPTV_down	5	15	20
103	IPTV_up	5	5	5
105	Internet_fire	1	60	80
106	VoIP	6	1	2

Každá služba by měla mít nastavenou jinou prioritu. Hodnoty vychází ze standardu **IEEE** 802.1p a hodnota se nachází v rozsahu 0-7. Dle konfiguračního manuálu od firmy Huawei mají mít datové služby hodnotu 1. Pro video služby by se měla využívat hodnota 5 a pro hlasové služby 6. Čím vyšší číslo použiji, tím vyšší prioritu má daná služba. Hlasové služby jsou nejvíce náchylné na zpoždění a další nechtěné vlivy a proto mají prioritu nejvyšší. Pokud by tak například došlo k maximálnímu vytížení linky a právě probíhal telefonní hovor, nemělo by dojít k tomu, že by pro tuto službu nebyla uvolněna část garantovaného pásma.

6.3.3 Přidání jednotky

Pro správnou funkčnost koncového zařízení je potřeba provést několik kroků počínaje přidáním jednotky, přiřazením profilů a nastavením servisních portů. V prvním kroku je výhodné zjistit, jaké jednotky jsou už přidány a případně i aktivní. To lze provést pomocí následujícího příkazu.

```
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#display board 0/1
```

Ve výpisu lze pak vidět všechny spárované jednotky **ONT**. Dobře lze vidět, ke které **GPON** kartě dané zařízení patří a zároveň ke kterému portu příslušné karty je připojené.

Před samotným přidáním jednotky je třeba přepnout konfiguraci na správnou **GPON** kartu. Na této kartě je pak třeba zapnout automatické vyhledávání nespárovaných jednotek na daném portu. Po chvíli lze provést výpis nalezených jednotek. Z tohoto výpisu je výhodné zapsat si sériové číslo, které by mělo souhlasit s číslem uvedeným na štítku ve spodní části

zařízení. Poté již lze jednotku přidat za pomoci služebního kanálu. Pokud máme vytvořené požadované servisní a linkové profily, lze je v této fázi přidávání jednotce již přiřadit. Není však problém provést přiřazení či změnu poté. V následující ukázce lze vidět přidání jedné **ONT** jednotky.

```
MA5603T(config)#interface gpon 0/1
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#port 1 ont-auto-find enable
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#display ont autofind 1
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#ont confirm 1 sn-auth 48575443C04E270C omci ont-lineprofile-id
100 ont-srvprofile-id 101
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#quit
```

Nyní je jednotka v aktivní režimu, což se projeví jak ve výpisu aktivních jednotek viz. výše, tak i na samotné jednotce. Pokud jednotka není spárována s **OLT**, tak kontrolní dioda s označením **PON** bliká. V opačném případě dioda konstantně svítí.

V další fázi je třeba nastavit servisní porty na jednotlivé fyzické rozhraní **ONT** jednotky. Před tímto přiřazením je třeba mít vytvořené **VLANy**, které určí, pod který provoz bude daný port spadat. K samotnému vytvoření nám vystačí jeden příkaz, ve kterém nejprve definuji **VLAN**, poté příslušnou **GPON** kartu, identifikační (id) číslo **ONT**, číslo koncového portu, typ služby a zda-li se mají na straně uživatele značkovat rámce. Nepovinným parametrem, ale v mé konfiguraci důležitým, je přiřazení traffic profilů pro sestupný a vzestupný směr. Tím lze jednoznačně nastavit přenosové parametry poskytované služby pro každého zákazníka nezávisle.

```
MA5603T(config)#service-port vlan 100 gpon 0/1/1 ont 2 eth 1 multi-service user-vlan untagged
rx-cttr 100 tx-cttr 100
```

6.4 Nastavení streamovacího serveru

Pro vizuální ověření funkčnosti multicastového vysílání bylo nutné provést nastavení **PC** ve funkci streamovacího zařízení. Pro laboratorní a testovací účely jsem využil notebooku s již nainstalovaným operačním systémem linux. Protože pracuji výhradně na distribuci Debian, tak jsem i pro práci využil tohoto systému.

Zde je nejprve nutné doinstalovat některé balíčky, které jsou důležité pro další část nastavení. Mezi ně patří program, který dokáže vytvářet multicastové vysílání. Já jsem využil open source program VLC player. Dále je nutné doinstalovat balíček pro práci s virtuálními sítěmi (vlan). Po spuštění následující příkazu a jeho potvrzení máme vše nutné připravené.

```
user@server:~#sudo apt-get install vlc && vlan
```

Poté jsem přešel k samotnému nastavení síťové karty serveru. Nejprve je třeba načíst modul pro práci s virtuálními sítěmi 802.1q do jádra systému.

```
user@server:~#sudo modprobe 8021q
```

Na zařízení jsem pracoval s fyzickým rozhráním typu ethernet s označením eth0. Tento port jsem přidal do **VLAN** 200, kterou jsem zvolil právě pro služby **IPTV**. Poté je třeba toto nově vytvořené virtuální rozhraní zapnout. Následovalo nastavení IP adresy a směrovacího záznamu pro multicastové adresy. Ukázka tohoto nastavení je uvedena níže.

```
user@server:~#sudo vconfig add eth0 200
user@server:~#sudo ip link set eth0.200 up
user@server:~#sudo ip addr add 172.16.17.1/24 dev eth0.200
user@server:~#sudo ip route add 224.0.0.0/4 dev eth0.200
```

Pro datové a hlasové služby jsem měl **DHCP** server umístěn na směrovači. Abych úplně oddělil provoz **IPTV** serveru od ostatních služeb, umístil jsem server pro automatické přidělování adres pro tuto službu na server. Pro správné nastavení serveru je opět třeba doinstalovat balíček, zde s názvem pro distribuci debian isc-dhcp-server. Konfigurace se provádí pomocí editace konfiguračního souboru za pomoci některého programu pro editaci textových souborů. Lze použít například program vim, nano či gedit. Nakonec je třeba službu **DHCP** serveru spustit.

```
user@server:#sudo vim /etc/dhcp/dhcp.conf

subnet 172.16.17.0 netmask 255.255.255.0 {
    range 172.16.17.3 172.16.17.253;
    option routers 172.16.17.1;
    option domain-name-servers 8.8.8.8;
}

user@server:#sudo service isc-dhcp-server start
```

Tímto máme kompletně zprovozněn server po síťové stránce, ale ještě je třeba správně nastavit vysílání. Streamování pomocí programu VLC lze provést jednoduše pomocí příkazu v terminálu. Já jsem si vytvořil skript v programovacím jazyku bash pro snadnější zapnutí a bez nutnosti pamatovat si syntaxi.

Nastavení programů jsem uložil do konfiguračního souboru, na který se poté pomocí příkazu ve vytvoření skriptu odkazují. Z nastavení konfiguračního souboru, který lze vidět níže, lze vyčíst, že jsem vytvořil tři různé programy, které běží současně. Jsou přiřazeny do jedné skupiny a každý je identifikovatelný podle jiného názvu.

```
user@server:#sudo vim /stream/vlc.conf

/*Nastavení programů*/
new channel1 broadcast enabled
setup channel1 input file:///stream/video1.avi
setup channel1 output #rtp{access=udp,mux=ts,dst=224.100.1.2,port=5004,sdp=sap,sap,group="Test",
name="Program1"}

new channel2 broadcast enabled
setup channel2 input file:///stream/video2.avi
setup channel2 output #rtp{access=udp,mux=ts,dst=224.100.1.3,port=5004,sdp=sap,sap,group="Test",
name="Program2"}

new channel3 broadcast enabled
setup channel3 input file:///stream/video3.avi
setup channel3 output #rtp{access=udp,mux=ts,dst=224.100.1.4,port=5004,sdp=sap,sap,group="Test",
name="Program3"}

control channel1 play
control channel2 play
control channel3 play
```

Následuje již zmíněný skript pro spuštění vysílání.

```
user@server:#sudo vim stream.sh

#!/bin/bash
vlc -vvv --color -I telnet --telnet-password "heslo" --vlm-conf=/stream/vlc.conf

user@server:#sudo chmod +x stream.sh
user@server:#!/stream.sh
```

7 Testování nastavených parametrů

Poté, co se mi podařilo kompletně nastavit všechny zařízení, jsem přešel k otestování nastavených parametrů a to zejména přenosových rychlostí, zpoždění, ztrátovosti a jitteru. Testování jsem prováděl jak za pomoci hardwarových zařízení, tak i softwarových prostředků.

Nejprve jsem provedl měření za pomoci zařízení firmy JDSU. Poté jsem otestoval některé parametry pomocí zařízení EXFO a nakonec jsem využil open source softwarového produktu iPerf a jeho grafické varianty jPerf.

7.1 JDSU Smartclass Ethernet

První otestování přenosových parametrů jsem provedl za pomoci zařízení firmy JDSU. Jednalo se o produkt Smartclass Ethernet. Zařízení dokáže generovat a měřit datový tok na L2/L3 vrstvě a to na rychlostech od 10 Mbit/s až do 1 Gbit/s. K zařízení se lze připojit pomocí konektoru RJ45 nebo optického konektoru. Zařízení dokáže pracovat s VLAN, Qin-Q nebo MPLS hlavičkami.



Obrázek 7.1: JDSU Smartclass Ethernet - Zdroj [17]

K dispozici jsem měl dva tyto měřicí přístroje kdy jsem jeden zapojil na uplinkový port OLT. Druhou jednotku jsem připojil vždy na příslušný port na koncové ONT jednotce. Měření jsem prováděl odděleně pro vzestupný a sestupný směr.

Před spuštěním měření je třeba obě zařízení správně nakonfigurovat. Na zařízeních je nejprve nutné provést nastavení cílové MAC adresy, tedy adresy druhého zařízení. Zároveň provést kontrolu zdrojové MAC adresy. Následovalo nastavení maximální přenosové rychlosti na 100 Mbit/s. Test probíhal pomocí unicastu. Typ rámce jsem nastavil na IEEE 802.3. Délku rámce jsem nastavil na proměnnou, což znamená, že během testu se mění velikost

rámce. Dále jsem při každém měření nastavil příslušnou VLAN na jednotce, která byla připojena k OLT z důvodu nutnosti značkování rámců.

Měření jsem nechal vždy cca 2 minuty běžet a poté bylo třeba provést uložení výsledků přímo na zařízení. Až poté bylo možné provést zkopírování dat za pomoci USB kabelu do PC a jeho automatické překonvertování do tabulkového formátu.

Měření jsem provedl na ONT s názvem Onu_2, protože na této jednotce jsem měl nastaveny všechny tři služby. Jeden měřicí přístroj zůstal fixně připojen k OLT a druhý jsem postupně připojil na první tři ethernetové porty ONT a provedl měření pro sestupný směr. Poté bylo třeba nastavit generování provozu na straně ONT jednotek a provést opět měření na všech portech pro vzestupný směr. Výsledky jsem shrnul přehledně do následující tabulky (Tab. 7.1).

Tabulka 7.1: Měření pomocí JDSU Smartclass Ethernet

Data - internet		
Parametr	Sestupný směr	Vzestupný směr
Průměrná velikost rámce [B]	983	1042
Min. velikost rámce [B]	64	64
Max. velikost rámce [B]	1518	1522
L1 rychlost [Mbit/s]	83,2	41,8
L2 rychlost [Mbit/s]	81,6	41,0
IPTV		
Průměrná velikost rámce [B]	1049	1101
Min. velikost rámce [B]	64	64
Max. velikost rámce [B]	1518	1518
L1 rychlost [Mbit/s]	20,8	5,2
L2 rychlost [Mbit/s]	20,4	5,1
VoIP		
Průměrná velikost rámce [B]	1101	1082
Min. velikost rámce [B]	64	64
Max. velikost rámce [B]	1518	1522
L1 rychlost [Mbit/s]	2,1	2,1
L2 rychlost [Mbit/s]	2,1	2,0
Jitter (průměrný) [ms]	0,065	0,065

7.2 Měření pomocí iPerf

Další prověření nastavených parametrů jsem provedl pomocí softwarového nástroje iPerf. Ten je třeba zprovoznit na dvou počítačích. Zařízení je podporováno na několika operačních systémech např. Windows, Linux, Mac, Solaris.

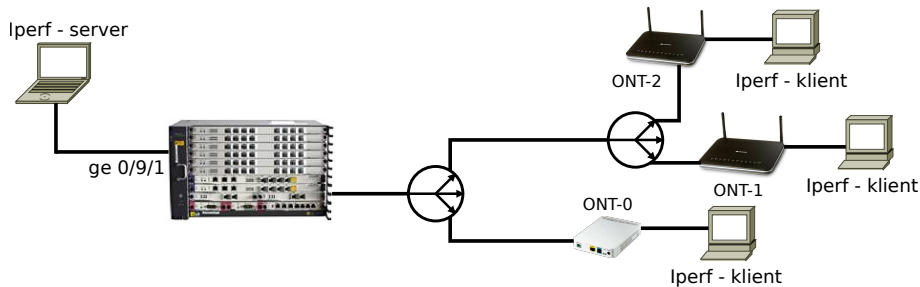
Program iPerf slouží k měření propustnosti u TCP a UDP datových toků. Dokáže však měřit i jiné parametry jako například zpoždění jitter a ztrátovost paketů.

Nastavení probíhá tak, že se na jednom PC spustí program v režimu server a na druhé straně v režimu klient. Protože jsem opět musel připojit jedno zařízení na stranu, kde je třeba přidat fyzický port do VLANy, použil jsem opět osobní notebook s předinstalovaným

operačním systémem Linux Debian. Na druhé straně jsem použil laboratorní PC s nainstalovaným systémem Windows 7. U operačního systému Windows lze třeba stáhnout program z oficiálních stránek ¹. Pro správnou funkci na OS linux je třeba doinstalovat balíček iperf, který je v Debianu dostupný ze standardních zdrojů.

```
user@server:~#sudo apt-get install iperf
```

Měření probíhalo při jednom spuštění testu v obou směrech tak, že se nejprve měřil jeden směr a hned poté druhý.



Obrázek 7.2: Měřené zapojení - Zdroj [12],[14] a [20]

7.2.1 Konfigurace serveru

Nastavení serveru je mnohem jednodušší než nastavení klienta, protože se server spustí jako daemon. I z těchto důvodů jsem využil pro tuto stranu PC s OS Windows. Tento PC byl připojen postupně k jednotlivým ONT na všechny nastavené porty. Pokud jsme si rozbílili program do složky iPerf přímo na disk C, lze spuštění provést pomocí následujícího příkazu v příkazovém řádku.

```
C:\Iperf\iperf -s
```

Jako výchozí port je zde použit 5001. Pokud bychom chtěli nastavit jiný, tak lze využít parametru -p číslo portu (-port). Při testování propustnosti UDP je třeba nastavit server pustit s parametrem -u.

```
C:\Iperf\iperf -s -u
```

7.2.2 Konfigurace klienta

Klient byl připojen přímo k OLT na port ge0/9/1. Protože jsou porty OLT přidány do jednotlivých VLAN bylo třeba značkovat rámce již na notebooku. Využíval jsem port s označením eth0, na kterém jsem nastavil postupně jednotlivé VLAN 100, 200 a 300. Níže přikládám ukázkou pro nastavení VLAN 100 na eth0.

```
user@server:~#sudo modprobe 8021q
user@server:~#sudo vconfig add eth0 100
user@server:~#sudo ip link set eth0.100 up
```

IP adresu jsem nechal přiřadit automaticky od Cisco routeru, aby nedošlo k tomu, že nastavím duplicitní adresu jako na straně ONT. Zde je třeba editovat soubor pro nastavení síťových rozhraní pomocí textového editačního programu. Následuje restartování síťové služby a poté již dojde k automatickému nastavení IP adresy.

¹<http://www.iperf.fr>


```
user@server:#sudo vim /etc/network/interfaces
user@server:#auto eth0.100
user@server:#iface eth0.100 inet dhcp
user@server:#service networking restart
```

Poté jsem již mohl přejít k testování jednotlivých služeb a jejich parametrů. Pro správné spuštění je třeba znát **IP** adresu, kterou má přiřazený server. Následující parametry jsou nepovinné a díky nim lze testování blíže specifikovat. Níže následuje výběr několika parametrů, které lze nastavit při konfiguraci klienta.

- -b *cílová rychlost* - nastavení maximální rychlosti
- -u - použití **UDP**
- -d - obousměrný test v jednu chvíli
- -r - obousměrný test samostatně
- -t *doba testu* - délka testu v sekundách
- -n *velikost* - velikost dat pro odeslání
- -P *počet klientů* - simulace více klientů
- -M *velikost* - velikost **TCP** segmentu

Následuje již příklad konfigurace klientské strany pro měření **TCP**, v každém směru samostatně vždy po dobu 30 sekund. Následuje vyhodnocení tohoto měření pro oba směry na příslušných portech. Z výsledků lze vidět přenosovou rychlost a počet přenesených dat.

```
user@server:#iperf -c 172.16.16.60 -r -t 30
```

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 K (default)
-----
```

```
-----
Client connecting to 172.16.16.60, TCP port 5001
TCP window size: 108 KByte (default)
-----
```

```
[ 6] local 172.16.16.56 port 32993 connected with 172.16.16.60 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 6] 0.0-30.0 sec  215 MBytes  60.2 Mbits/sec
[ 5] local 172.16.16.56 port 5001 connected with 172.16.16.60 port 49221
[ 5] 0.0-30.0 sec  216 MBytes  60.4 Mbits/sec
-----
```

Při měření **UDP** lze zjistit mnohem více parametrů v podobě ztrátovosti a jitteru. Jak jsem již jednou zmínil, tak při tomto měření je třeba server zapnout s parametrem -u. Na straně klienta je opět třeba definovat cílovou adresu serveru jako u **TCP** a stejně jako na straně serveru parametr -u. Měření opět probíhá v obou směrech zvlášť a dále je třeba nastavit jakou přenosovou rychlost chceme testovat a po jaký čas.

```
user@server:#iperf -c 172.16.16.60 -u -r -b 60M -t 120
```

7.2.3 Výsledky měření

Ověření přenosových rychlostí jsem provedl pomocí **TCP** měření na všech nakonfigurovaných jednotkách pro oba směry přenosu. Výsledky těchto měření jsem shrnul do následující tabulky (Tab. 7.2).

Tabulka 7.2: Měření TCP pomocí nástroje iPerf

Název jednotky	Onu_1		Onu_2		Onu_3	
Parametr	Down	Up	Down	Up	Down	Up
Data - internet						
Počet přenesených dat[MB]	215	216	146	146	286	146
Rychlost[Mbit/s]	60,2	60,4	40,8	40,7	80,0	40,6
IPTV						
Počet přenesených dat[MB]	-	-	74,6	19,0	74,2	19,0
Rychlost[Mbit/s]	-	-	20,7	5,20	20,7	5,22
VoIP						
Počet přenesených dat[MB]	-	-	-	-	7,62	7,75
Rychlost[Mbit/s]	-	-	-	-	2,08	2,09

V následující tabulce (Tab. 7.3) jsou shrnuty výsledky pro měření **UDP** paketů. Rychlost byla vždy fixně nastavena na hodnotu, která je poskytována zákazníkovi pro ověření garantovaných parametrů služby. Z výsledků lze vidět, že na poskytovaných rychlostech nedochází ke ztrátovosti. Parametr jitter je očividně ovlivněn rychlostí připojení a zároveň je odlišný ve směru sestupném a vzestupném.

Tabulka 7.3: Měření UDP pomocí nástroje iPerf

Název jednotky	Onu_1		Onu_2		Onu_3	
Parametr	Down	Up	Down	Up	Down	Up
Data - internet						
Počet přenesených dat[MB]	215	215	143	143	286	143
Rychlost[Mbit/s]	60	60	40	40	80	40
Jitter[ms]	1,057	0,627	0,328	0,512	0,496	0,521
Ztrátovost[%]	0	0	0	0	0	0
IPTV						
Počet přenesených dat[MB]	-	-	71,4	71,5	71,4	71,5
Rychlost[Mbit/s]	-	-	20	5	20	5
Jitter[ms]	-	-	1,576	0,147	1,11	0,182
Ztrátovost[%]	-	-	0	0	0	0
VoIP						
Počet přenesených dat[MB]	-	-	-	-	7,16	7,16
Rychlost[Mbit/s]	-	-	-	-	2	2
Jitter[ms]	-	-	-	-	1,305	0,174
Ztrátovost[%]	-	-	-	-	0	0

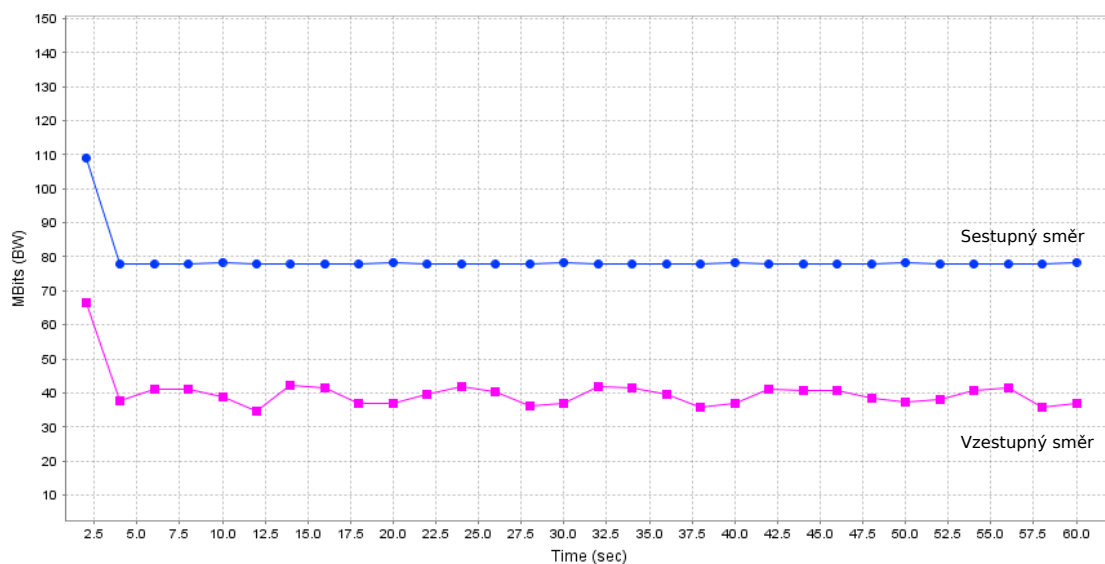
Ve vzestupném směru lze vidět, že mnohem lepší hodnoty jitter dosahujeme u jednotek s označením Onu_2 a Onu_3. To bude zřejmě způsobeno použitím lepších **ONT** jednotek na straně zákazníka. Zároveň lze vidět, že nejlepších výsledků parametru jitter ve vzestupném směru dosahujeme právě u služby **VoIP**.

Hodnoty parametru jitter u **VoIP** vycházejí řádově jiné než u měření viz. kapitola 7.1. To bude zřejmě způsobeno odlišností jednotlivých měřících metod. Každá měří hodnoty na jiné vrstvě **OSI** modelu.

7.2.4 Grafická varianta jPerf

Program jPerf představuje grafickou nadstavbu již použitého softwaru iPerf. Konfigurace je díky tomuto prostředí zjednodušena. Software zároveň dokáže vykreslovat grafy propustnosti v reálném čase. Po skončení testů lze pak tyto grafy uložit do souboru ve formátu obrázku s příponou např. png.

Tuto nadstavbu stačí mít spuštěnou buď na straně klienta nebo serveru. Na opačné straně lze spustit iPerf, protože jsou programy navzájem plně kompatibilní.



Obrázek 7.3: Testování propustnosti datových služeb na jednotce Onu_2 - Zdroj: *Autor*

8 Závěr

Protože se celá tato práce soustředí na oblast přístupových sítí, tak jsem nejprve provedl shrnutí současného stavu dostupných technologií právě pro oblast přístupových sítí. Následovalo shrnutí základních poznatků a možností na trhu se zaměřením na oblast pasivních optických sítí.

Poté jsem začal důkladněji studovat architekturu těchto sítí a její stavební prvky. Dále jsem blíže prostudoval optická vlákna a jejich vlastnosti. Z obecného hlediska v technologii pasivních optických sítí využíváme několika síťových principů, které jsou důležité pro pochopení funkce zařízení a tak jsem je v práci popsal také.

Abych mohl v praktické části práce správně navrhnout topologii měřené sítě, přešel jsem k tomu, jak se takovéto sítě navrhují s ohledem na topologii sítě, ztráty, počty prvků apod.

V laboratoři jsem měl k dispozici zařízení typu **GPON** firmy Huawei, a proto jsem ještě provedl shrnutí vlastností a přenosových parametrů právě této varianty **PON**. Důležitou částí je útlumová bilance, která úzce souvisí s praktickým návrhem sítě v reálném prostředí. V další části jsou popsány jednotlivé vrstvy a jejich funkce. Struktura **GPON** je z důvodu optimalizace parametrů standardizována organizací **ITU** a tak jsem při popisu jednotlivých vrstev modelu vycházel ze standardů vydaných právě touto organizací.

Již v době, kdy jsem tuto práci psal, byla k dispozici technologicky vyspělejší a rychlejší varianta **XGPON**. Ta z velké části vychází z mnou popisované varianty a proto jsem zde spíše shrnul její hlavní vlastnosti, možnosti koexistence obou variant v jedné síti a jejich hlavní rozdíly.

Pro praktickou část práce jsem měl k dispozici zmiňované zařízení firmy Huawei. Nejprve jsem provedl důkladné prostudování dokumentace poskytnuté od výrobce. K dispozici jsem měl jedno centrální zařízení, umísťované na stranu poskytovatele služeb, typu **OLT** a několik **ONT** jednotek, které se umísťují na stranu zákazníka. Součástí laboratoře byly také potřebné pasivní rozbočovače a optická vlákna. Součástí centrální jednotky byla **GPON** karta, která však nebyla majetkem školy a byla zapůjčena od firmy Huawei pouze na určitou dobu.

Následovalo zapojení všech dostupných prvků do funkčního stavu. Bylo třeba vymyslet zapojení sítě, tak aby bylo možné zpřístupnit služby triple play. Pro datové služby jsem využil dostupného připojení k síti internet v laboratoři. Službu **IPTV** jsem zprovoznil na vlastním serveru a službu **VoIP** jsem uvažoval přístupnou přes síť internet. Pro jednotlivé služby jsem navrhl přenosové parametry, které jsem uvažoval při konfiguraci zařízení.

Pro správné připojení k internetu bylo třeba nakonfigurovat nejprve směrovač, kde jsem využil zařízení firmy Cisco dostupné v laboratoři. Poté jsem přešel k nastavení samotného **OLT**, kde však bylo nutné nejprve prostudovat konfigurační manuály. Funkční nastavení se skládá z mnoha kroků. Z těchto důvodů jsem vypracoval konfigurační manuál pro nastavení služeb, které jsem používal v této práci. Tento manuál je součástí přílohy na konci dokumentu. Pro ukázkou funkce multicastového vysílání pro službu **IPTV** jsem provedl konfiguraci takovéhoho serveru.

V konečné fázi jsem přešel k testování nastavených parametrů a to zejména přenosových rychlostí, zpoždění a ztrátovosti. K těmto účelům jsem využil zařízení firmy JDSU a softwarový nástroj iPerf. Výsledky jsem shrnul do přiložených tabulek.

Součástí přílohy je také připravená laboratorní úloha, kterou by bylo možné použít v

předmětu zabývající se optickými sítěmi, pro účely seznámení s touto perspektivní technologií. Úloha by měla studentům poskytnout základní teoretické znalosti těchto sítí a možnost vyzkoušet si fyzicky práci s touto technologií a to zejména konfiguraci zařízení firmy Huawei.

Do budoucna je potřeba počítat s tím, že dnešní přístupové sítě založené víceméně na technologiích **xDSL** či **Wi-Fi**, nemusí hlavně z hlediska přenosových rychlostí zákazníkům dostáčet. Pasivní optické sítě představují jednu z možností, jak tyto požadavky zákazníků splnit.

Seznam obrázků

2.1	Závislost útlumu na vlnové délce - Podle [16]	8
2.2	Funkce rozbočovače v sestupném směru - Zdroj: <i>Autor</i>	10
2.3	Funkce rozbočovače ve vzestupném směru - Zdroj: <i>Autor</i>	11
3.1	Zobrazení jednotlivých zpoždění a určení referenčních bodů - Podle [11]	15
3.2	Vrstvový model optické sítě typu GPON - Podle [5]	16
3.3	Princip dynamického přidělování kapacity - Podle [1]	18
3.4	Složení rámce pro sestupný směr - Podle [1]	20
3.5	Složení rámce pro vzestupný směr - Podle [1]	20
3.6	Složení rámce pro vzestupný směr - Podle [1] a [5]	21
4.1	Koexistence GPON a XGPON varianty v přenosovém pásmu - Podle [6]	23
4.2	Složení XGTC rámce pro sestupný směr - Podle [10]	25
4.3	Složení XGTC rámce pro vzestupný směr - Podle [10]	26
5.1	OLT MA5603T - Zdroj [12]	28
5.2	Foto GPON karty umístěné v laboratoři - Zdroj: <i>Autor</i>	29
5.3	ONT jednotka Huawei HG8010 - Zdroj [13]	30
5.4	ONT jednotka Huawei HG8245 - Zdroj [15]	30
6.1	Měřené zapojení - Zdroj [12],[14] a [20]	31
7.1	JDSU Smartclass Ethernet - Zdroj [17]	38
7.2	Měřené zapojení - Zdroj [12],[14] a [20]	40
7.3	Testování propustnosti datových služeb na jednotce Onu_2 - Zdroj: <i>Autor</i>	43
B.1	Schéma zapojení laboratorní úlohy - Zdroj [12],[14] a [20]	III

Seznam tabulek

2.1	Rozdělení spektra na pásma	8
2.2	Hlavní rozdíly mezi EPON a 10GEPON variantou	12
3.1	Možné přenosové rychlosti v daných směrech	13
3.2	Útlumové třídy	16
4.1	Útlumové třídy varianty XGPON	24
4.2	Hlavní rozdíly mezi GPON a XGPON variantou	27
5.1	Parametry OLT MA5603T	28
6.1	Přehled datových služeb	32
6.2	Přehled video a hlasových služeb	32
6.3	Vytvořené servisní profily	35
6.4	Vytvořené traffic profily	35
7.1	Měření pomocí JDSU Smartclass Ethernet	39
7.2	Měření TCP pomocí nástroje iPerf	42
7.3	Měření UDP pomocí nástroje iPerf	42
B.1	Porovnání nastavených a měřených přenosových rychlostí	V

Literatura

- [1] Cedric F. Lam *Passive Optical Networks - Principles and Practise* Academic Press, 2007.
- [2] Andre Girard, Ph.D. *FTTx PON - Technology adn Testing* EXFO Electro-Optical Engineering, 2005.
- [3] ITU-T, 2005, Recommendation G.984.1 *Gigabit-capable Passive Optical Networks - General Characteristics* [online]. Dostupné na: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en>
- [4] ITU-T, 2003, Recommendation G.984.2 *Gigabit-capable Passive Optical Networks - Physical Media Dependent (PMD) layer specification* [online]. Dostupné na: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/en>
- [5] ITU-T, 2008, Recommendation G.984.3 *Gigabit-capable Passive Optical Networks - Transmission convergence layer specification* [online]. Dostupné na: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/en>
- [6] Lafata P., 2011 *Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s* [online]. Dostupné na: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticke-site-s-rychlosti-10-gbits&cisloclanku=2011030001>
- [7] Lafata P., 2009 *Pasivní optická síť GPON* [online]. Dostupné na: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>
- [8] ITU-T, 2010, Recommendation G.987.1 *10-Gigabit-capable passive optical networks (XGPON) - General requirement* [online]. Dostupné na: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.987.1-201001-I!!PDF-E&type=items
- [9] ITU-T, 2010, Recommendation G.987.2 *10-Gigabit-capable passive optical networks (XGPON)- Physical media dependent (PMD) layer specification* [online]. Dostupné na: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.987.2-201010-I!!PDF-E&type=items
- [10] ITU-T, 2010, Recommendation G.987.3 *10-Gigabit-capable passive optical networks (XGPON) - Transmission convergence (TC) layer specification*[online]. Dostupné na: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.987.3-201010-S!!PDF-E&type=items

- [11] ITU-T, 2005, Recommendation G.983.1 *Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)* [online]. Dostupné na: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.983.1-200501-I!!PDF-E&type=items
- [12] MA5603T *Fotografie zařízení Huawei MA5603T* [online]. Dostupné na: http://www.cyberbajt.pl/dat/big/4857_1.jpg
- [13] HG8010 *Fotografie zařízení Huawei HG8010* [online]. Dostupné na: http://enterprise.huawei.com/ucmf/groups/entpublic/documents/enterprise_en_webasset/en_hg8010_banner.jpg
- [14] HG8010 *Fotografie zařízení Huawei HG8010 pro schéma* [online]. Dostupné na: http://enterprise.huawei.com/ilink/enenterprise/download/HW_187570
- [15] HG8245 *Fotografie zařízení Huawei HG8245* [online]. Dostupné na: http://enterprise.huawei.com/ucmf/groups/entpublic/documents/enterprise_en_webasset/en_hg8245_banner.jpg
- [16] Utlumová křivka *Závislost útlumu na vlnové délce* [online]. Dostupné na: http://www.posterus.sk/wp-content/uploads/p6830_06_obr6.png
- [17] JDSU *Fotografie měřicího přístroje JDSU* [online]. Dostupné na: http://www.jdsu.com/ProductLiterature/smclassethgige_ds_acc_tm_ae.pdf
- [18] Huawei, 2013 *Commissioning and Configuration Guide* [offline].
- [19] Huawei *Command Reference - souhrn příkazů pro konfiguraci přes CLI* [offline].
- [20] Huawei, 2013 *Sales Catalog of Huawei Telecommunication Products - Access Network Products* [online]. Dostupné na: http://enterprise.huawei.com/ilink/cnenterprise/download/HW_279146
- [21] JDSU Smartclass Ethernet *Katalog produktu* [online]. Dostupné na: http://www.jdsu.com/productliterature/smclassethgige_ds_acc_tm_ae.pdf

Přílohy

A.1 Obsah přiloženého CD

- diplomová práce ve formě PDF
- laboratorní úloha ve formě PDF
- vytvořený konfigurační manuál ve formě PDF
- použité obrázky
- doporučení **ITU**
- záznamy z měření na zařízeních JDSU

Laboratorní úloha

Konfigurace GPON sítě a její testování

B.1 Úvod a konfigurace zařízení

B.1.1 Teoretický úvod

Pasivní optické sítě tvoří jednu z možností, jak nahradit v přístupových sítích dominující xDSL a Wi-Fi technologie. Možnostmi a rychlostmi značně tyto technologie překonává a s narůstajícími nároky koncových zákazníků se stává velice perspektivní. Zároveň lze tyto technologie kombinovat v případech, kdy se nevyplatí budování nové sítě až ke koncovému zákazníkovi a je možné využít stávající metalická vedení.

Obvykle je síť tvořena OLT jednotkou, ke které lze připojit až tisíce koncových zákazníků. Technologie se vyznačuje tím, že mezi zařízením poskytovatele a přístupovým bodem pro zákazníky nejsou zařízení, která by potřebovala aktivní napájení. Při návrhu je třeba řešit útlumovou bilanci trasy. Z těchto důvodů byly vytvořeny útlumové třídy, které musí být splněny pro správnou funkčnost sítě.

Na straně zákazníka může být umístěna jednotka ONT, která má optický vstup a slouží primárně jako zařízení konvertující protokol přístupové sítě na technologii ethernet pro použití v domácí síti.

B.1.2 Popis pracoviště

Úloha je rozdělena do dvou částí. Nejprve je nutné nakonfigurovat zařízení Huawei určená pro pasivní optické přístupové sítě ve variantě GPON. Následně ověříme funkčnost těchto nastavení a otestujeme nastavené parametry.

Zařízení jsou umístěná v laboratoři 710 katedry telekomunikační techniky v zadní části místnosti. V první racku je umístěna jednotka OLT (Huawei MA5603T), ve které je umístěna GPON karta sloužící k připojení koncových uživatelů. V sousedním racku jsou umístěné nutné optické prvky. Tyto prvky mají vyvedené vstupy a výstupy na panel pro jednoduché připojení pomocí konektorů. Koncové ONT jednotky jsou dvou typů a liší se pouze v dostupných parametrech.

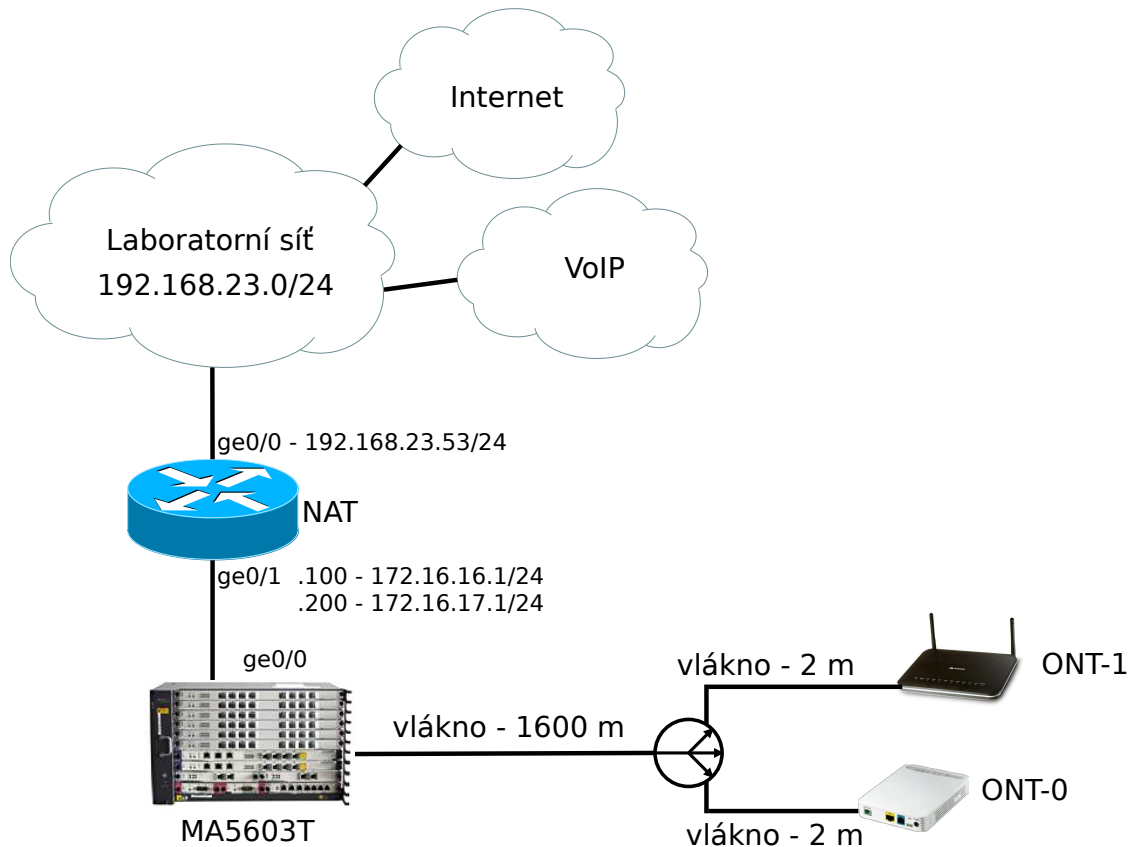
V prvním racku je ještě umístěn Cisco směrovač, který plní funkci DHCP serveru a zároveň odděluje námi tvořenou přístupovou síť od sítě laboratorní, za pomoci překladu adres NAT. Směrovač zároveň plní funkci výchozí brány do sítě internet pro všechny zařízení. Na tomto zařízení je již provoz jednotlivých služeb rozdělen do VLAN. Na tomto zařízení již není třeba nic konfigurovat a vše je předpřipravené.

Pro konfiguraci OLT je třeba zapnout příslušný laboratorní počítač a připojit se přes telnet ke konfiguraci zařízení.

B.1.3 Použité přístroje

Huawei SmartClass MA56O3T, Huawei HG8245, Huawei HG8010, optické vlákno (cca 2 m) 3x, optické vlákno (1600 m) 1x, 1x pasivní rozbočovač (1:4), 1x přímý kabel UTP (koncovky RJ45), Cisco router 2901, laboratorní PC, notebook

B.1.4 Schéma zapojení



Obrázek B.1: Schéma zapojení laboratorní úlohy - Zdroj [12],[14] a [20]

B.1.5 Postup

1. Nejprve provedte zapojení optické sítě pomocí přiloženého schématu. Zde je nutné propojit port z OLT (na GPON kartě jsou osazené dva výstupy SFP moduly) na jeden z vyvedených konců vlákna 1600 m. Druhý konec připojit na vstup pasivního rozbočovače. Z výstupů rozbočovače pak připojit dvě koncové jednotky pomocí cca 2 m vláken. Zapojení od OLT směrem k laboratorní síti je již připravené.
2. Po zapnutí PC je třeba zapnout program putty. Zde je připravený profil MA5603T pro připojení k OLT za pomoci protokolu telnet. Po přístupu do zařízení je třeba zadat jméno: **root** a heslo: **admin**.
3. Dále je třeba provést sérii příkazů, za pomoci nichž provedete konfiguraci zařízení. Prvním příkazem se provede přepnutí do privilegovaného módu, ze kterého lze přistoupit do módu konfigurace.

```
MA5603T>enable
MA5603T#config
MA5603T(config)#
```

4. Následuje vytvoření dvou profilů nutných pro definování přenosových rychlostí jednotlivých služeb. Pomocí následujícího příkazu vytvoříte profil s názvem data a indexem 1. Zároveň se provede nastavení garantované rychlosti např. na 40 Mbit/s a maximální na 60 Mbit/s. Dále je třeba nastavit prioritu dané služby, kdy pro datovou je udávána hodnota 0 a pro VoIP 6. Podobně vytvoříte profil pro VoIP např. index 2, jméno voip, cir 1024, pir 2048.

```
MA5603T(config)# traffic table ip index 1 name "data" cir 40960 pir 61440 priority 0
priority-policy local-Setting
```

5. V dalším kroku proved'te přidání jednotek ONT. Je nutné se přepnout na GPON kartu (u nás 0/1 neboli druhý slot ze shora). Poté je třeba zapnout na tomto portu automatické vyhledávání připojených jednotek. Následujícím příkazem provedete vypsaní těchto vyhledaných jednotek. Zapište si sériové číslo (S/N) obou jednotek. Poté je již možné jednotku přidat za pomoci služebního kanálu OMCI. Zároveň je třeba definovat již připravené univerzální linkové a servisní profily. Postup 5. proved'te pro obě jednotky.

```
MA5603T(config)#interface gpon 0/1
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#port 1 ont-auto-find enable
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#display ont autofind 1
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#ont confirm 1 sn-auth 48575443C04E270C omci ont-lineprofile-id 100
ont-srvprofile-id 101
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#quit
```

6. Podobně jako na Cisco směrovači jsou i na OLT již předpřipravené dvě VLANy s ID 100 a 200. VLAN 100 bude určená pro přístup k síti internet (datové služby). Druhá VLAN 200 pro služby VoIP hlasových služeb. Díky tomu lze již přistoupit k vytvoření servisních portů s požadovanými vlastnostmi a přenosovými parametry.

Na první jednotce (ONT 0) na jejím ethernetovém portu nastavte servisní port s VLAN 100, tedy datové služby s rychlostí definovanou traffic profilem s indexem 1. Na druhé jednotce (ONT 1) máte k dispozici čtyři ethernetové porty. Na první tedy můžete nastavit stejné datové služby jako na první jednotce a na druhý port nastavit službu VoIP.

```
MA5603T(config)#service-port vlan 100 gpon 0/1/1 ont 0 eth 1 multi-service user-vlan untagged
rx-cttr 1 tx-cttr 1
MA5603T(config)#service-port vlan 100 gpon 0/1/1 ont 1 eth 1 multi-service user-vlan untagged
rx-cttr 1 tx-cttr 1
MA5603T(config)#service-port vlan 200 gpon 0/1/1 ont 1 eth 2 multi-service user-vlan untagged
rx-cttr 2 tx-cttr 2
```

B.2 Měření parametrů

B.2.1 Nastavení serveru

Ověření nastavených parametrů provedte za pomoci softwarového nástroje iPerf, který je již instalován v PC. Je třeba zapnout tento software v režimu server na našem laboratorním PC v příkazovém řádku. Na tomto PC zároveň zjistíte ze síťového nastavení přiřazenou IPv4 adresu. Ta bude ve tvaru 192.168.23.x.

```
C:\Iperf\iperf -s
```

B.2.2 Nastavení klienta

Poté je třeba propojit za pomoci síťového kabelu notebook s ONT jednotkou. Připojte se vždy na port, který chcete prověřit. Na notebooku je třeba mít nastavené automatické přiřazování IP adres od DHCP serveru. Poté zapněte příkazový řádek a zapněte měření v režimu klient. Zde je možné nastavit několik parametrů. V našem případě pro ověření přenosových rychlostí provedeme test v obou směrech (-r). Čas měření lze nastavit na libovolnou hodnotu (-t).

```
C:\Iperf\iperf -c 192.168.23.x -r -t 30
```

Po skončení měření se zobrazí výpis s hodnotami přenosových rychlostí v obou směrech (downstream/upstream).

B.2.3 Výsledky měření

Tabulka B.1: Porovnání nastavených a měřených přenosových rychlostí

Jednotka	ONT 0		ONT 1	
Směr	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream
Data - Internet				
Nastavená rychlost [Mbit/s]				
Změřená rychlost [Mbit/s]				
VoIP				
Nastavená rychlost [Mbit/s]	-	-		
Změřená rychlost [Mbit/s]	-	-		

Konfigurační manuál

Manuál pro konfiguraci zařízení Huawei MA5603T

C.1 Základní příkazy

Příkaz `enable` slouží k přepnutí z uživatelského módu do privilegovaného módu. Zpět se lze vrátit příkazem `disable`.

```
MA5603T>enable
MA5603T#
```

V privilegovaném módu nelze provádět konfigurace komponent či rozhraní. K přepnutí do globálního konfiguračního módu slouží příkaz `config`.

```
MA5603T#config
MA5603T#(config)
```

K návratu do privilegovaného módu z kteréhokoli jiného slouží příkaz `return`.

```
MA5603T#(config-test)return
MA5603T#
```

Dalším důležitým příkazem je `quit`. Tímto příkazem se buď vrátíme do předcházejícího módu nebo opustíme konfiguraci příslušného rozhraní.

```
MA5603T#(config)quit
MA5603T#
```

Pro konfiguraci portů příslušné GPON karty je třeba přejít do tzv. GPON módu. K správnému nastavení je třeba znát pozici karty v subracku MA5603T.

```
MA5603T#(config)interface gpon 0/1
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#
```

Pro konfigurace ethernetových portů je podobný postup a je opět třeba znát pozici karty, která tyto porty obsahuje.

```
MA5603T#(config)interface eth 0/9
MA5603T(config-if-eth-0/9)#
```

Při konfiguraci VLAN interface je třeba znát pouze číslo VLAN, kterou chceme parametrizovat.

```
MA5603T#(config)interface vlanif 100
MA5603T(config-if-vlanif100)#
```

Pro konfiguraci části IPTV služeb je nutné přejít do BTV módu. Často je třeba konfigurovat také Multicast VLAN.

```
MA5603T(config)#btv
MA5603T(config-btv)#
```

```
MA5603T(config)#multicast-vlan 300
MA5603T(config-mvlan300)#
```

C.2 VLAN

Příkaz `vlan` slouží k přidání jedné VLAN nebo více stejného typu. VLANy lze využít k oddělení provozu na fyzických portech ONT jednotek.

- `vlanid` - číslo VLAN [2 - 4093]
- `vlan-list` - typ [standard, smart, super]

Přidání VLAN

Pro správné přidání VLAN je třeba zadat `vlanid` a typ `vlan`. Poté lze danou VLAN přiřadit k určitému portu v racku na příslušné kartě. Po samotném přidání VLANy dojde k vytvoření virtuálního rozhraní. Tomu lze pak přiřadit na vrstvě L3 ip adresu a masku sítě pro možnou konfiguraci rozhraní.

```
MA5603T(config)#vlan 300 smart
MA5603T(config)#port vlan 300 0/9 1
MA5603T(config-if-vlanif300)#ip address 172.16.18.2 24
```

Odebrání VLAN

Odebrání lze provést pro příslušné `vlanid` nebo pro typ.

```
MA5603T(config)#undo vlan 300
MA5603T(config)#undo vlan smart
```

C.3 Přidání ONU jednotky

Kontrola přidanych jednotek

Pro zjištění aktuálně přidanych jednotek lze využít příkaz pro výpis stavu GPON karty umístěné v daném slotu. Příložený výpis je zkrácený, ale lze z něho dobře vyčíst, že jsou aktivní dvě jednotky ONT ve framu 0, na kartě umístěné ve slotu 1, připojené k portu číslo 1.

```
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#display board 0/1
```

```
-----
In port 0/ 1/0 , the total of ONTs are: 0, online: 0
```

F/S/P	ONT ID	SN	Control flag	Run state	Config state	Match state	Protect side
0/ 1/1	0	485754431091500C	active	online	normal	match	no
0/ 1/1	1	48575443C04E270C	active	online	normal	match	no

```
-----
F/S/P   ONT-ID   Description
```

0/ 1/1	0	onu_1
0/ 1/1	1	onu_2

```
-----
In port 0/ 1/1 , the total of ONTs are: 2, online: 2
In port 0/ 1/2 , the total of ONTs are: 0, online: 0
```


Přidání jednotky

Nejprve je nutné provést přepnutí na správné rozhraní (karta gpon). Poté je třeba na příslušném portu, do kterého je ONT připojena zapnout automatické vyhledávání jednotek. Dále lze pomocí příkazu display provést vypsání nalezených jednotek.

```
MA5603T(config)#interface gpon 0/1
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#port 1 ont-auto-find enable
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#display ont autofind 1
-----
Number           : 1
F/S/P            : 0/1/1
Ont SN           : 485754433183260C
Password         : 0x00000000000000000000
Loid             :
Checkcode        :
VendorID         : HWTC
Ont Version      : 130D4600
Ont SoftwareVersion : V1R003C00S105
Ont EquipmentID  : 245
Ont autofind time : 2014-03-03 13:57:54+01:00
-----
```

Z výpisu lze vidět, že je k dispozici jedna jednotka na zvoleném portu. Pro další příkazy je nutné zaznamenat Ont sériové číslo (Většinou bývá vypsáno i na spodní části zařízení).

V další části je třeba přidat jednotku prostřednictvím služebního kanálu. Je třeba uvést číslo portu, sériové číslo, služební kanál a přiřadit příslušný gpon line profil a service profil. Jednotka je poté přidána.

```
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#ont confirm 1 sn-auth 48575443C04E270C omci ont-lineprofile-id 100
                                ont-srvprofile-id 101
```

Změnu názvu přiřazené jednotky lze provést následujícím příkazem.

```
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#ont modify 1 1 desc onu_1
```

Odebrání jednotky

K odebrání jednotky slouží příkaz ont delete. Pro správné odebrání jednotky je třeba odebrat všechny servisní porty k ní přiřazené. Je nutné provést přepnutí na správnou kartu. Dále je třeba definovat port na příslušné kartě a id jednotky kterou chceme odebrat.

```
MA5603T(config)#interface gpon 0/1
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#ont delete 1 2
Number of ONTs that can be deleted: 1, success: 1
```

Přiřazení/změna profilů

Následujícím příkazem je možné provést změnu přiřazených profilů (service,line) u dané jednotky.

```
MA5603T(config)#interface gpon 0/1
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#ont modify 1 2 ont-srvprofile-id 2 ont-lineprofile-id 3
MA5603T(config-if-gpon-0/1)#quit
```

Dále je možné přiřadit celé jednotce traffic limit, který omezí přenosovou rychlost pro celou jednotku.

```
MA5603T(config)#traffic-limit ont 0/1/1 2 down-stream traffic-table index 9
```

Servisní porty

Pro správné fungování služeb je třeba přiřadit k danému fyzickému portu na dané ONT jednotce tzv. servisní port. Při vytváření je třeba vzít v úvahu také VLAN, do které bude provoz spadat. Volba multi-service indikuje možnost využití portů pro více typů služeb. Dále je třeba určit, zda-li budou rámce na straně uživatele tagované či ne. Při vytváření tohoto servisního portu je také možné nastavit přenosové rychlosti v obou směrech. Příkaz je třeba potvrdit dvojitým stiskem klávesy enter.

```
MA5603T(config)#service-port vlan 100 gpon 0/1/1 ont 2 eth 1 multi-service user-vlan untagged
rx-cttr 100 tx-cttr 100
```

Následujícím příkazem provedeme odebrání portu příslušné VLAN na dané jednotce a portu.

```
MA5603T(config)#undo service-port vlan 100 gpon 0/1/1 ont 2 gempport 1
```

Lze však odebrat i všechny porty příslušné VLAN najednou.

```
MA5603T(config)#undo service-port vlan 100 gpon 0/1/1
```

C.4 Traffic profily

Pomocí těchto profilů lze jednotlivým zákazníkům nastavit potřebné parametry jednotlivých služeb. Profily lze přiřadit na vytvořené servisní porty. Na jedné jednotce lze tedy provozovat několik služeb s odlišnými parametry.

- index - [0 - 1023]
- cir - committed information rate [64-10240000 (kbit/s)] - zajištěná přenosová rychlost
- cbs - committed burst size [2000-10240000 (byte)]
- pir - peak information rate [64-10240000 (kbit/s)] - maximální přenosová rychlost
- pbs - peak burst size [2000-10240000 (byte)]
- priority - priorita definovaná podle standardu 802.1p [0-7] (internet - 1, iptv - 5, voip - 6)
- name - název typu string
- from-index - indikuje index od kterého se má provést dané pravidlo [0 - 1023]
- to-index - indikuje index do kterého se má provést dané pravidlo [0 - 1023]

Přidání traffic profilu

Vytvoření traffic profilu je nezbytné pro nastavení přenosových rychlostí na jednotlivé servisní porty. Nejprve je třeba vytvořit dané traffic profily. Mezi povinné hodnoty patří v první řadě index, pod kterým je dané pravidlo uloženo (index). Dalším povinným parametrem je název (name), hodnota cir (committed information rate) a pir (peak information rate). Dále je třeba nastavit prioritu.

```
MA5603T(config)# traffic table ip index 9 name "Traffic_1" cir 16384 pir 32768 priority 0
                    priority-policy local-Setting
```

```
Create traffic descriptor record successfully
```

```
-----
TD Index           : 9
TD Name            : Traffic_1
Priority            : 0
Copy Priority       : -
Mapping Index      : -
CTAG Mapping Priority: -
CTAG Mapping Index : -
CTAG Default Priority: 0
Priority Policy     : local-pri
CIR                : 16384 kbps
CBS                : 985040 bytes
PIR                : 32768 kbps
PBS                : 1968080 bytes
Color policy       : dei
Referenced Status  : not used
-----
```

Vypsání traffic profilů

Vypsání lze provést pro jednotlivá pravidla (index, name) nebo lze provést výpis více pravidel na jednou za pomoci parametrů from-index a to-index.

```
MA5603T(config)#display traffic table ip from-index 0
```

```
Display traffic table ip from-index 0
```

```
-----
TID CIR      CBS      PIR      PBS      Pri Copy-policy      Pri-Policy
   (kbps)   (bytes) (kbps)   (bytes)
-----
100 40960    1312720 61440    1968080  1 -                  local-pri
101 30720    985040  40960    1312720  1 -                  local-pri
102 15360    493520  20480    657360  5 -                  local-pri
103 5120     165840  5120     165840  5 -                  local-pri
104 10240    329680  15360    493520  6 -                  local-pri
-----
```

```
Total Num : 5
```

Odebrání traffic profilu

K odebrání profilu lze použít příkaz undo. Povinným parametrem je pak buď index daného pravidla nebo jeho jméno (name) viz. [C.4](#).

```
MA5603T(config)#undo traffic table ip index 104
```

C.5 GPON DBA profily

Pro správné vytvoření line profilu viz. C.6 je třeba nejprve vytvořit dba profil.

- profile-id - id pod kterým je profil identifikovatelný
- profile-name - název profilu
- type1 - fixní rychlost
- type2 - garantovaná rychlost
- type3 - garantovaná rychlost, maximální rychlost
- type4 - maximální rychlost
- type5 - spojení všech (fixní, garantovaná, maximální)

Přidání DBA profilu

Při vytváření profilu je třeba zadat ID, pod kterým je profil identifikovatelný. Dále název profilu a typ který chceme využít. Také je třeba vybrat požadovaný typ (fix, assure, max) a definovat mu danou rychlost.

V příkladu lze vidět vytvoření profilu s fixní rychlostí 32 Mbit/s.

```
MA5603T(config)#dba-profile add profile-id 15 profile-name "Dba_profile_1" type1 fix 32768
```

Vypsání DBA profilů

Vypsání profilu lze provést jak pro jednotlivé profily podle jejich id či jména nebo pro všechny. Níže je vidět výpis všech vytvořených pravidel.

```
MA5603T(config)#display dba-profile all
```

Profile-ID	type	Bandwidth compensation	Fix (kbps)	Assure (kbps)	Max (kbps)	Bind times
10	1	No	49984	0	0	0
11	1	No	99968	0	0	0
12	2	No	0	61440	0	2
13	1	No	20032	0	0	0
14	1	No	46976	0	0	0
15	1	No	32768	0	0	2
100	1	No	102400	0	0	0

Odebrání DBA profilů

Odebrání profilu lze provést pro jednotlivé profily samostatně podle jejich id nebo jména.

```
MA5603T(config)#dba-profile delete profile-id 100
```

C.6 GPON line profily

Vytváření tohoto profilu má dvě části. Nejprve je třeba vytvořit profil s daným id a názvem. V další fázi je třeba tomuto profilu nastavit tcont.

- profile-id - id pod kterým je profil identifikovatelný
- profile-name - název profilu
- dba-profile-id - id dba profilu
- dba-profile-name - název dba profilu
- tcont - příslušný tcont [0 - 127]

Přidání line profilu

Při přidání profilu je třeba nejprve zadat příkaz gpon. Následuje id profilu a jeho název uvedený v uvozovkách.

```
MA5603T(config)#ont-lineprofile gpon profile-id 3 profile-name "Line_profile_1"
```

Nastavení parametrů zvoleného profilu

Dále je nutné provést přiřazení dba-profilu (id nebo název) do daného tcont. Poté je třeba potvrdit příkazem commit. Příkazem quit se lze poté dostat zpět do konfiguračního módu.

```
MA5603T(config-gpon-lineprofile-3)#tcont 0 dba-profile-id 12
MA5603T(config-gpon-lineprofile-3)#tcont 1 dba-profile-id 12
MA5603T(config-gpon-lineprofile-3)#commit
MA5603T(config-gpon-lineprofile-3)#quit
```

Dále jsou uvedené příkazy pro odebrání tcont a jeho modifikaci.

```
MA5603T(config-gpon-lineprofile-3)#undo tcont 1
MA5603T(config-gpon-lineprofile-3)#tcont 0 dba-profile-id 15
```

Vypsání line profilů

Výpis profilu lze provést pro všechny profily najednou nebo jednotlivě na základě profile-id nebo profile-name.

```
MA5603T(config)#display ont-lineprofile gpon all
-----
Profile-ID  Profile-name                               Binding times
-----
0           line-profile_default_0                     0
1           Line_profile_1                             1
-----
Total Num : 2
```

Odebrání line profilů

Odebrání profilu lze provést na základě profile-id nebo profile-name.

```
MA5603T(config)#undo ont-lineprofile gpon profile-id 10
```

GPON Service profily

Vytvoření service profilu je opět rozděleno do dvou částí. Nejprve se vytvoří profil s daným id a názvem. Poté se definují vlastnosti tohoto profilu.

- profile-id - id pod kterým je profil identifikovatelný
- profile-name - název profilu
- ont-port - definice typu portů na ONT jednotce
- eth - typ ethernet
- pots - typ portu pro hlasové služby

Přidání service profilu

Při přidání profilu je třeba nejprve zadat příkaz gpon. Následuje id profilu a jeho název uvedený v uvozovkách.

```
MA5603T(config)#ont-srvprofile gpon profile-id 2 profile-name "Service_profile1"
```

Nastavení parametrů profilu

Předchozím příkazem jsme se tedy dostali do konfigurace daného profilu. Zde je třeba zadat počet fyzických portů pro jednotku, které bude tento profil přiřazen. Číslo za typem portu udává jejich počet. Tento příkaz je potřeba potvrdit stiskem klávesy enter (2x). Nastavení je opět potřeba potvrdit příkazem commit.

```
MA5603T(config-gpon-srvprofile-2)#ont-port eth 4  
MA5603T(config-gpon-srvprofile-2)#commit
```

Vypsání service profilů

Výpis profilu lze provést pro všechny profily najednou nebo jednotlivě na základě profile-id nebo profile-name.

```
MA5603T(config)#display ont-srvprofile gpon all
```

```
-----  
Profile-ID  Profile-name                                     Binding times  
-----  
0           srv-profile_default_0                             1  
1           service_profileONUO_2                             0  
2           Service_profile1                               1  
3           srv-profile_3                                     0  
4           srv-profile_4                                     0  
100        Srv_onu_0                                         1  
101        Srv_onu_1                                         0  
102        Srv_onu_2                                         0  
-----
```

Odebrání service profilů

Odebrání profilu lze provést na základě profile-id nebo profile-name.

```
MA5603T(config)#undo ont-srvprofile gpon profile-id 100
```

C.7 Multicast služby

Pro správnou konfiguraci IPTV služby je třeba nejprve vytvořit klasickou VLAN. Této vytvořené VLAN je třeba přiřadit požadovaný fyzický port. Tato VLAN je poté použita pro nastavení servisního portu na straně koncového zákazníka na fyzický port příslušného ONT. Tento postup lze vidět níže.

```
huawei(config)#vlan 200 smart
huawei(config)#port vlan 200 0/9 1
huawei(config)#service-port 112 vlan 200 gpon 0/1/1 ont 1 eth 2 multi-service uservlan untagged
rx-cttr 102 tx-cttr 103
```

Poté je možné nastavit tuto multicast VLAN s ID vytvořeným v přecházejícím kroku. Po vytvoření dojde automaticky k přechodu do nastavení této VLAN. Zde je třeba nastavit protokol IGMP do módu proxy (lze nastavit i snooping). Dále je třeba nastavit verzi tohoto protokolu. Následuje nastavení uplink portu pro tento protokol.

Konfigurace multicast VLAN

Níže lze vidět ukázkovou konfiguraci pro VLAN 200. IGMP je nastaveno na mód proxy ve verzi protokolu 3. Jako uplinkový port je zde použit port na kartě číslo 9 s označením 1.

```
huawei(config)#multicast-vlan 200
huawei(config-mvlan200)#igmp mode proxy
Are you sure to change IGMP mode?(y/n)[n]:y
huawei(config-mvlan200)#igmp version v3
huawei(config-mvlan200)#igmp uplink-port 0/9/1
huawei(config-mvlan200)#btv
huawei(config-btv)#igmp uplink-port-mode default
```

Tvorba programu

Při konfiguraci multicast VLAN je možné vytvořit seznam jednotlivých dostupných programů s jejich multicast adresou a názvem. Dále je nutné uvést zdrojovou adresu vysílání.

```
huawei(config-btv)#multicast-vlan 200
huawei(config-mvlan200)#igmp program add name tv1 ip 224.100.1.2 sourceip 172.16.17.9
huawei(config-mvlan200)#igmp program add name tv2 ip 224.100.1.3 sourceip 172.16.17.9
huawei(config-mvlan200)#igmp program add name tv3 ip 224.100.1.4 sourceip 172.16.17.9
```

Poté, co máme definované jednotlivé programy, tak lze vytvořit programové nabídky, kdy lze některé programy povolit a jiné zakázat. V uvedeném příkladě jsou v nabídce programy tv1 a tv2. Program tv3 bude pro zákazníka nedostupný.

```
huawei(config-btv)#igmp profile add profile-name test
huawei(config-btv)#igmp profile profile-name test program-name tv1 watch
huawei(config-btv)#igmp profile profile-name test program-name tv2 watch
huawei(config-btv)#igmp profile profile-name test program-name tv3 forbidden
```

Přidání uživatele

Následuje vytvoření nového uživatele pro tuto službu. Při vytváření je třeba zvolit servisní port, který již musíme mít vytvořený a nesmí být přiřazen jinému uživateli. Při vytváření lze definovat, zda-li bude tento uživatel nějak omezován nebo bude mít přístup ke všem programům.

Volba *no-auth* definuje uživatele, který má přístup ke všem programům, které jsou v nabídce. Naopak pokud použijeme volbu *auth*, tak je třeba v dalším kroku k tomuto uživatelskému profilu přiřadit programovou nabídku.

```
huawei(config-btv)#igmp user add service-port 112 no-auth
huawei(config-btv)#igmp user add service-port 113 auth
huawei(config-btv)#igmp user bind-profile service-port 113 profile-name test
```

Následuje přidání uživatele jako člena multicast VLANy.

```
huawei(config-btv)#multicast-vlan 200
huawei(config-mvlan200)#igmp multicast-vlan member service-port 112
huawei(config-mvlan200)#quit
```