

NG-PON1: tehnološka opredelitev, uvajanje v prakso in sobivanje s sistemom GPON

Vesna Eržen, Boštjan Batagelj

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: erzenvesna@gmail.com, bostjan.batagelj@fe.uni-lj.si

Povzetek. Vsebina prispevka se nanaša na tehnološko predstavitev desetgigabitnega pasivnega optičnega omrežja (angl. Ten-gigabit-capable Passive Optical Network – XG-PON), ki je v dveh stopnjah razvoja (XG-PON1 in XG-PON2) prvi korak k naslednji generaciji pasivnega optičnega omrežja (angl. Next-generation Passive Optical Network 1 – NG-PON1). Članek povzema izsledke raziskav in analiz razvoja fiksne širokopasovnega optičnega omrežja. Glavni namen je opisati proces prehajanja tehnologije gigabitnega pasivnega optičnega omrežja (angl. Gigabit-capable Passive Optical Network – GPON) v NG-PON1. Migracija na novo tehnologijo ima smisel le tedaj, ko je povezana s tehnološkimi izboljšavami, ki omogočajo naprednejše storitve, pri čemer morajo biti investicije, potrebne za migracijo, cenovno upravičene. Prihod nove tehnologije je vedno zaznamovan z določenim obsegom sprememb obstoječega sistema, zato je namen prispevka odgovoriti na vprašanja, v kolikšnem obsegu bo potrebna menjava obstoječih pasivnih in aktivnih elementov in katere nove elemente bo treba dodati. V zvezi s tem je posebna pozornost namenjena koeksistenci tehnologij GPON in NG-PON1. Izkaže se, da je za doseganje združljivosti omenjenih sistemov tehnološko in cenovno ustreza rešitev uporaba valovnodolžinskih zapornih sit (angl. wavelength blocking filters – WBF) na podlagi tehnologije tankoplastnih sit (angl. Thin Film Filter – TFF) in razcepnikov na podlagi valovnodolžinskega razvrščanja (angl. Wavelength Division Multiplexing – WDM).

Ključne besede: pasivno optično omrežje naslednje generacije, optično dostopno omrežje, gigabitno pasivno optično omrežje, koeksistenca

Next-generation Passive Optical Network

The paper concerns itself with technological presentation of Ten-gigabit-capable Passive Optical Network – XG-PON which in two phases of development (XG-PON1 and XG-PON2) represents the first step towards the Next-generation Passive Optical Network 1 – NG-PON1. The paper summarizes the results of researches and analyses of the development of fixed broadband optical network. The main intention is to describe the migration process of Gigabit-capable Passive Optical Network – GPON to NG-PON1. The migration to the new technology is sensible only if related to technological improvements that enable enhanced service and if the investments needed for migration are cost justifiable. The arrival of new technology is always characterized by certain range of changes in the existing system, therefore, the purpose of the paper is to answer the questions what is the scope of changes needed in the existing passive and active elements and which new elements need to be added. In relation to this, special attention is given to the coexistence of GPON and NG-PON1. It is evident that for coexistence of GPON and NG-PON1 systems the use of wavelength blocking filters – WBF based on Thin Film Filter – TFF and Wavelength Division Multiplexing – WDM splitters are cost efficient and technologically adequate solution.

1 UVOD

V skladu z Nielsenovim zakonom potreba po pasovni širini v dostopovnem omrežju naraste vsako leto za približno 50 odstotkov [1]. V zadnjem času narašča predvsem na račun računalništva v oblaku in IPTV (angl. Internet Protocol television) [2]. Ker je optično vlakno širokopasoven medij, ki teoretično in praktično dosega zelo visoke prenosne hitrosti, se čedalje več operaterjev odloča za gradnjo novega ali nadgradnjo obstoječega optičnega dostopovnega omrežja.

Ko optično vlakno poteka od centrale do doma končnega uporabnika, govorimo o tehnologiji vlakno do doma (angl. Fiber To The Home – FTTH). Pri gradnji FTTH sta mogoči dve osnovni topologiji omrežja: povezavi točka-točka (angl. Point-to-point – P2P) [3] ali točka-veliko točk (angl. Point-to-multipoint – P2MP).

Gigabitno pasivno optično omrežje (angl. Gigabit-capable Passive Optical Network - GPON) temelji na topologiji P2MP in jo je izbrala večina ponudnikov telekomunikacijskih storitev v Evropi in ZDA. GPON je standardiziran z nizom priporočil ITU-T G.984 [4]. V skladu s standardom omogoča različne kombinacije

prenosnih hitrosti. V praksi je najpogosteje realizirana asimetrična hitrost, ki znaša 2,4 Gbit/s v dotoku in 1,2 Gbit/s v odtoku podatkov, mogoča pa je tudi simetrična prenosna hitrost 2,4 Gbit/s. Optično vlakno v osnovi omogoča veliko višje prenosne hitrosti, zato naslednje generacije sistemov PON (angl. Next-generation PON – NG-PON) obetajo še veliko večjo pasovno širino.

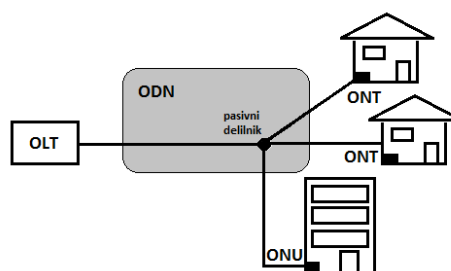
Leta 2010 je bil sprejet standard ITU-T G.987 [5], ki opredeljuje prvo stopnjo v razvoju desetgigabitnega PON (angl. Ten-gigabit-capable PON – XG-PON1) sistema. X v kratiki XG-PON označuje rimsko številko 10, saj je to sistem, ki omogoča hitrost prenosa 10 Gbit/s. To velja za hitrost prenosa v dotoku podatkov, odtočna hitrost XG-PON1 pa je 2,5 Gbit/s. Omenjeni standard vsebuje tudi smernice, ki se nanašajo na drugo stopnjo v razvoju desetgigabitnega PON-sistema (XG-PON2), ki predvideva simetrično hitrost prenosa 10 Gbit/s v dotoku in odtoku podatkov.

Prispevek najprej opredeli splošne značilnosti in fizični nivo sistemov GPON, XG-PON1 in XG-PON2, pri čemer je poudarek na nedavno standardizirani tehnologiji XG-PON1. Pri opredeljevanju tehnologij se opiramo predvsem na standarde, ki so se ali se oblikujejo pod okriljem delovne skupine FSAN (angl. Full Service Access Network) mednarodnega združenja ITU-T (angl. International Telecommunication Union – Telecommunications). Tretje poglavje se nanaša na kronološki pregled razvoja tehnologij in na zahteve, ki morajo biti izpolnjene, če želimo doseči čim preprostejši in kolikor je mogoče spontan prehod na naslednjo generacijo PON-sistemov. Opisana sta dva načina oziroma scenarija prehoda sistema GPON na XG-PON1 in zahteve za njuno sobivanje. Z vprašanjem, katere omrežne naprave je smiselno uporabiti pri doseganju združljivosti sistemov NG-PON1 in GPON, se ukvarja četrto poglavje. V sklepnem poglavju pa so povzete najpomembnejše ugotovitve.

2 TEHNOLOŠKA OPREDELITEV

2.1 GPON

V skladu s standardom ITU-T G.984 GPON optično distribucijsko omrežje (angl. Optical Distribution Network – ODN) povezuje optični linijski terminal (angl. Optical Line Terminal – OLT) z optičnim omrežnim terminalom (angl. Optical Network Terminal – ONT) oziroma optično omrežno enoto (angl. Optical Network Unit – ONU) prek pasivnega optičnega razcepnika. Osnovne komponente omrežja PON prikazuje slika 1. ONT je namenjen zgolj enemu končnemu uporabniku, na ONU pa je lahko na različne načine (optika, bakrene parice, brezžična povezava) priključenih več končnih uporabnikov.



Slika 1: Omrežje GPON sestavljajo OLT v centrali, pasivni optični razcepnik in enote ONT/ONU

Za omrežje ODN je značilno, da je popolnoma pasivno, kar pomeni, da ne vsebuje elementov, ki bi za svoje delovanje potrebovali električno napajanje.

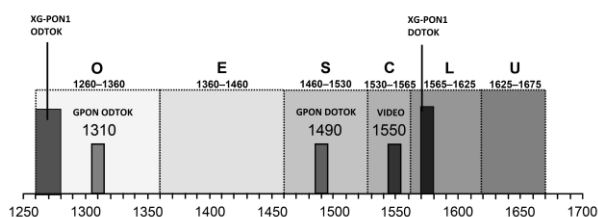
Prenos podatkov v dotoku se razlikuje od prenosa v odtoku. V dotoku imamo neprekinjen podatkovni tok, kjer komunikacija med OLT in posameznimi enotami ONT poteka s pomočjo časovnega razvrščanja (angl. Time Division Multiplexing – TDM). Posamezna enota ONT/ONU sprejme vse okvire in zavrže tiste, ki mu niso namenjeni. V odtoku imamo prekinjen niz podatkovnih izbruhov (angl. Burst), kjer posamezne enote ONT/ONU komunicirajo z OLT v centrali s pomočjo sodostopa na podlagi časovnega razvrščanja (angl. Time Division Multiple Access – TDMA) [6].

Enota OLT v centrali lahko podpira različna delilna razmerja (1:16, 1:32 ali 1:64 ali več), kar je odvisno od želenega dosega. Pri tem večje delilno razmerje pomeni manjši doseg in nasprotno, saj imamo v omrežju omejeno zalogo moči. Za povečanje zaloge moči v omrežju je v skladu s priporočilom ITU-T G.984.6 [7] mogoča uporaba aktivnih komponent za podaljševanje dosega (angl. Reach Extender – RE).

Dotok podatkov pri enem samem optičnem vodniku poteka na valovni dolžini 1490 nm, odtok podatkov pa na valovni dolžini 1310 nm. Na valovni dolžini 1550 nm poteka prenos videosignala.

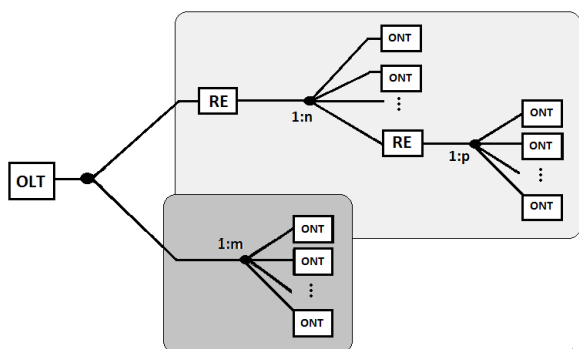
2.2 XG-PON1

Hitrost dotočnega prometa v XG-PON1 je 10 Gbit/s, hitrost odtočnega prometa pa 2,5 Gbit/s. Zaradi specifičnih zahtev proizvodnje in prodaje optičnih oddajnikov je skupina FSAN/ITU-T izbrala za dotok podatkov pasovno širino med 1575 nm in 1580 nm, za odtok pa pas od 1260 nm do 1280 nm, kot prikazuje slika 2. Izbira ustreznega pasu ni bila preprosta predvsem zaradi potrebe po varovalnem pasu, ki preprečuje interferenco med signali bližnjih valovnih dolžin.



Slika 2: Valovnodolžinska razporeditev v GPON in XG-PON

Omrežna arhitektura XG-PON1 v osnovi sestoji iz OLT v centrali, ODN in enot ONU/ONT na strani končnih uporabnikov. Standard opredeljuje preprost in sestavljen ODN, kot prikazuje slika 3. Preprost ODN sestoji iz enega samega pasivnega optičnega distribucijskega segmenta (angl. Optical Distribution Segment – ODS). Sestavljen ODN pa sestoji iz večjega števila ODS, ki so med seboj povezani s tehnologijami za podaljševanje dosega RE [8].



Slika 3: Primer preprostega in sestavljenega omrežja, ki sta združena v enovit PON

Predvideva se, da bodo imeli podaljševalniki dosega, ki vsebujejo tehnologije za ojačenje signalov, kot so optični ojačevalniki in regeneratorji na podlagi opto-električne-opto pretvorbe v sistemih NG-PON pomembno vlogo [9], [10]. Podaljševalniki dosega so namenjeni povečanju zaloge moči v omrežju, kar služi povečanju dosega in delilnega razmerja, lahko pa tudi združevanju več ODS.

Na višjih omrežnih nivojih (prenosni konvergenčni nivo) sta upravljanje in enkapsulacija (uokvirjanje) v sistemu XG-PON1 enaka kot v GPON [11], kar je pomembno z vidika koeksistence.

Pas valovnih dolžin, na katerih poteka dotok prometa, je širok le 5 nm. Tako ozek pas za pravilno delovanje zahteva uporabo posebnih laserskih virov z možnostjo temperaturne kontrole za stabilizacijo valovne dolžine. Tovrstni svetlobni viri so povezani predvsem z višjimi stroški [12].

Širina okna za odtočni promet znaša 20 nm, kar omogoča uporabo laserskih virov brez temperaturne kontrole in redukcijo stroškov, ki se nanašajo na komponente na strani ONU.

2.3 XG-PON2

Skupina FSAN/ITU-T še ni dosegla skupnega dogovora in jasnih iztočnic glede naslednje stopnje sistema NG-PON1, ki ga označujemo s kratico XG-PON2. Sistem XG-PON2 se nanaša na povečanje hitrosti odtočnega prometa z 2,5 Gbit/s na 10 Gbit/s, kar bi omogočalo simetrično hitrost prenosa v odtoku in dotoku podatkov.

Nekateri poznavalci vidijo možnost spontanega prehoda tehnologije GPON v XG-PON1 in pozneje v tehnologijo XG-PON2 z nekaterimi prilagoditvami v prenosnem konvergenčnem nivoju. Predvideni sta ohranitev dotočne valovne dolžine sistema XG-PON1 in razširitev strukture uokvirjanja prenosnega konvergenčnega sloja. To naj bi omogočalo višje hitrosti prenosa odtočnega prometa (10 Gbit/s) in združljivost tehnologij XG-PON1, XGPON2 in tudi GPON.

Navedene rešitve, ki se nanašajo na koeksistenco, se srečujejo z nekaterimi tehnološkimi ovirami. Kot prvo ni jasno, kako bo s fragmentacijo v odtoku podatkov pri višjih hitrostih prenosa in kako bo to vplivalo na dinamično dodeljevanje spektra (angl. Dynamic Bandwidth Allocation – DBA). Poleg navedenega bo treba zagotoviti poseben sprejemnik v OLT, ki bo omogočal sprejem podatkov pri različnih hitrostih prenosa v odtoku. Težave zaradi narave odtočnega prometa, ki pomeni pretrgan podatkovni niz, nastopijo pri hitrosti okoli 5 Gbit/s. Ključni problem je predvsem v sprejemniku, ki mora biti načrtovan tako, da omogoča točno zaznavo spremembe visokih in nizkih nivojev signala in hkrati hitro prilagoditev ter ustrezno časovno obnovo signala [10].

3 PREGLED MIGRACIJSKEGA PROCESA

Sistemi PON so se v praksi dobro uveljavili in veljajo za izjemno perspektivno dostopovno tehnologijo. Po letu 2000 se je začela množično uveljavljati tehnologija GPON. Desetgigabitni sistemi PON označujejo naslednjo stopnjo v razvoju. Gre za sistema XG-PON1 in XG-PON2, ki ju v strokovni literaturi označujemo pod skupnim imenom NG-PON1. Konceptualna opredelitev NG-PON1 sega v leto 2008. Leta 2010 je bil standardiziran sistem XG-PON1 Zaradi naraščajočih potreb po čedalje večji pasovni širini se pričakuje, da bo ta tehnologija prišla na trg do konca leta 2013.

3.1 Scenariji prehajanja na novo tehnologijo

Priporočilo G.987.1, ki se nanaša na tehnologijo XG-PON1, navaja dva scenarija prehoda tehnologije GPON na XG-PON1. Kjer bodo operaterji želeli obstoječo bakreno povezavo zamenjati z optično, se bodo lahko odločili za gradnjo sistema XG-PON1 (angl. PON green field migration scenario). Drugi način prehoda na delovanje sistema XG-PON1 je nadgradnja obstoječega sistema GPON, pri čemer je potrebna nadgradnja ali zamenjava enot ONU/ONT bodisi drugega za drugim v

daljšem časovnem obdobju bodisi vseh hkrati. Od tega je odvisno, kako dolgo bosta v istem ODN sočasno obratovala sistema GPON in XG-PON1 (angl. PON brown field migration scenario).

Ko govorimo o sistemih NG-PON1, ne moremo mimo koncepta konsolidacije omrežja. Gre namreč za združevanje oziroma zmanjševanje števila central v dostopu podaljšanega in dolgega dosega, ki je mogoče predvsem zaradi večje zaloge moči v omrežju sistemov NG-PON1.

Glavni namen uvajanja NG-PON1 je povečanje hitrosti prenosa podatkov, pri čemer mora biti namen dosežen z minimalnimi stroški [9]. To je mogoče le s čim manjšimi posegi v fizični nivo omrežja. Zaradi zaščite investicij, ki so jih ponudniki storitev vložili v realizacijo GPON, je skupina FSAN/ITU-T v svojih priporočilih opredelila zahteve, ki morajo biti izpolnjene za koeksistenco sistemov NG-PON1 in GPON.

Zahteve [13], ki so povezane s procesom prehajanja na NG-PON1 in ki morajo biti upoštewane pri oblikovanju standardov, so:

- optimizacija stroškov, povezanih z novo opremo;
- omogočanje sobivanja/koeksistence novih sistemov PON s predhodnimi za zaščito investicij operaterjev;
- optimalna izkoriščenost obstoječih potencialov (pasovne širine) s pomočjo dinamičnega dodeljevanja spektra uporabnikom;
- ohranitev in ponovna uporaba optične infrastrukture;
- minimizacija motenj v omrežju, ki so povezane s prehajanjem na novo tehnologijo, s pomočjo skrbnega predhodnega načrtovanja.

Prehod na tehnologijo XG-PON1 je mogoč z uporabo obstoječih »brezbarvnih« (angl. colorless) enot ONT in obstoječega omrežja ODN, kar je pomembno za doseganje koeksistence. Prednosti XG-PON1 pred tehnologijo GPON so povezane z večjimi prihodki na uporabnika, preprostejšo širitvijo omrežja in učinkovitejšim upravljanjem ter načrtovanjem omrežja [14].

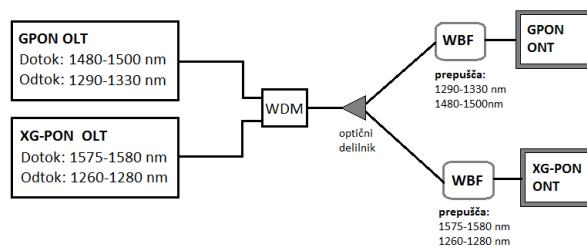
3.2 Sobivanje sistema NG-PON1 z GPON

Standard G.987 predvideva sobivanje (koeksistenco) XG-PON1 z GPON in prenos videosignalov v istem ODN. Če je skupen ODN namenjen sistemu XG-PON1, GPON in prenosu videovsebin, je treba za ločevanje podatkovnega prometa uporabiti posebna valvnodolžinska zaporna sita (angl. wavelength blocking filters - WBF)

Najpomembnejša zahteva za sobivanje sistemov NG-PON1 in GPON je delovanje v obstoječem optičnem distribucijskem omrežju. Ker so pasovi valovnih dolžin, v katerem oba sistema delujeta, različni, so potrebne določene posodobitve, ki bodo omogočale sočasni prenos signalov različnih valovnih dolžin.

Pas valovnih dolžin za odtok podatkov v GPON poteka od 1260 nm do 1360 nm, za dotok pa od 1480 nm do 1500 nm. Pri tem imajo sosednji pasovi vlogo varnostnih pasov, ki ločujejo pasove GPON od naknadno določenih pasov sistema XG-PON1. Tako se preprečuje interferenca med signali bližnjih valovnih dolžin. Priporočilo G.984.5 predvideva vgradnjo nizkocenovnih valvnodolžinskih zapornih sit (angl. wavelength blocking filters – WBF), ki zagotavljajo potrebno izolacijo zunaj varovalnega pasu in posledično vplivajo na nižje stroške prehoda sistema GPON na XG-PON1.

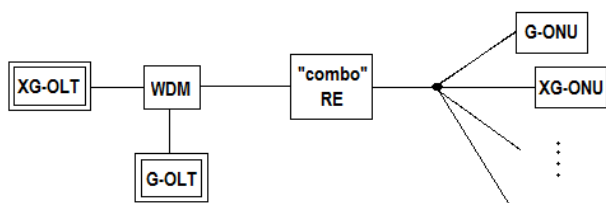
Slika 4 ponazarja shematsko vezavo osnovnih elementov, ki so potrebni za koeksistenco med sistemoma GPON in XG-PON1. V dotoku podatkov signal poteka od centralne postaje, kjer oddajata dve ločeni enoti OLT za GPON in za XG-PON1. Za doseganje koeksistence je potreben razcepnik na podlagi valvnodolžinskega razvrščanja (angl. Wavelength Division Multiplexing – WDM), ki omogoča združevanje signalov različnih valovnih dolžin (GPON, XG-PON1, video) v dotoku podatkov na skupno optično prenosno pot in razvrščanje teh signalov v nasprotni smeri. Razcepnik WDM, ki omogoča združevanje in razvrščanje signalov različnih valovnih dolžin, je lahko nameščen v centrali [8].



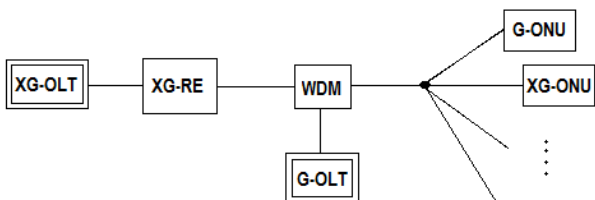
Slika 4: Osnovna omrežna arhitektura, ki omogoča sobivanje sistemov GPON in XG-PON1

Za pravilno delovanje in procesiranje signalov v posamezni enoti ONT (za GPON in XG-PON1) mora signal predhodno skozi valvnodolžinsko zaporno sito (angl. wavelength blocking filters – WBF), s čimer se dosega zahtevana izolacija zunaj zaščitnega pasu. S tem pa tudi ostane širši pas valovnih dolžin na voljo za naslednje generacije sistemov PON [14].

Pri podaljševanju dosega oziroma povečevanju zaloge moči v omrežju standard G.987.1 ob prehodu na XG-PON1 navaja dve arhitekturni možnosti. Prva je namestitev t. i. kombiniranega RE, ki vsebuje tehnologije za hkratno ojačenje oz. obnovo signalov GPON in XG-PON1 (slika 5). Druga arhitektura, ki je prikazana na sliki 6, pa omogoča uporabo RE le za ojačenje XG-PON1. Tako se obdržijo obstoječi elementi PON (OLT, ONT) in kljub temu doseže koeksistenco ter obenem poveča zalogo moči v omrežju do te mere, kot določa standard.



Slika 5: kombinirani RE ojači signale GPON in XG-PON1



Slika 6: S pomočjo XG-PON1RE zagotovimo zadostno zalogo moči v ODN

4 NOVE NAPRAVE SISTEMA XG-PON1

Uvajanje NG-PON1 v prakso je zasnovano tako, da v čim večjem obsegu zaščiti investicije operaterjev v obstoječi sistem. V ta namen XG-PON1 deluje v istem ODN kot GPON. Kljub temu se pri prehodu na novo tehnologijo nekaterim investicijam ni mogoče izogniti.

Kot kaže tabela 1, bo treba pri prehodu v sistem NG-PON1 nekatere elemente PON zamenjati, druge bo mogoče nespremenjene uporabiti znova ali pa jih nadgraditi. Neosenčene celice v tabeli označujejo naprave, ki jih bo treba pri prehodu na novo tehnologijo zamenjati, dodati ali nadgraditi.

Tabela1: Ustreznost omrežnih elementov v različnih primerih sistemov PON.

Naprave	GPON	XG-PON1	XG-PON2
OLT			
ONU			
RAZCEPNIKI			
OPTIČNA VODILA			
SITA			
WDM			

Kot smo že omenili, je treba za doseg koeksistence ločiti valovne dolžine različnih signalov, ki jih prenašamo po skupnem vlaknu. To je mogoče doseči z uporabo posebnih nastavljivih laserjev ali z uporabo WBF.

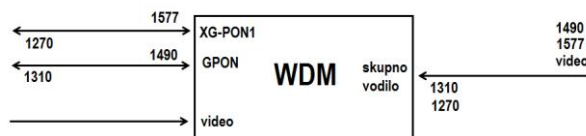
Uporaba nizkocenovnih WBF, ki temeljijo na tehnologiji tankoplastnih sit (angl. Thin Film Filter – TFF), je z vidika optimizacije stroškov prehoda na novo tehnologijo primernejša kot uporaba nastavljivih laserjev, ki so povezani predvsem z višjimi stroški. Poleg tega so WBF na trgu že dalj časa in so bolj razvita tehnologija. Nastavljivi laserji so še v razvoju in so povezani z nekaterimi tehnološkimi omejitvami. Primer takšne omejitve je sistem za temperaturno stabilizacijo laserja, ki zaradi zahtevne izvedbe vpliva na visoko ceno končnega proizvoda.

Poleg omenjenih WBF in nastavljivih laserjev je za selekcijo valovnih dolžin mogoča tudi uporaba nekaterih drugih naprav, vendar je večina tovrstnih naprav še v fazi razvoja in testiranja. Primer je tehnologija na osnovi nanovlaknen. Trenutno je ta tehnologija še v povojih in v številnih pogledih še ni primerna za praktično uporabo v sistemih NG-PON1, vendar se obetajo tehnološke izboljšave [15].

4.1 WDM razcepniki

Pri sistemu NG-PON1 je za doseg interoperabilnosti s sistemom GPON v CO praviloma nameščen razcepnik WDM, ki se uporablja kot optična naprava za združevanje in razcep signalov različnih valovnih dolžin [15]. Razcepnik WDM omogoča povečanje zmogljivosti sistema brez spreminjanja distribucijskega omrežja. Signalom različnih valovnih dolžin v dotoku podatkov zagotavlja združevanje na skupno optično vlakno. V odtoku podatkov pa skrbi za razvrstitev signalov iz skupnega vlakna na ustrezno optično vlakno.

Osnovne lastnosti razcepnikov WDM so opredeljene v dodatku k priporočilu ITU-T G.984.5 [16]. Navedene so različne referenčne možnosti izvedbe razcepnikov WDM, kar je odvisno od specifičnih zahtev posameznega sistema. Na sliki 7 je shematsko prikazan razcepnik WDM, ki omogoča združljivost sistemov XG-PON1 in GPON ter prenos videosignalov.



Slika 7: Razcepnik WDM za sožitje signalov XG-PON1, GPON in video

S tehnološkega vidika sta na voljo vlakenski in planarni tip razcepnikov WDM. Prvi temelji na tehnologiji TFF ali na Braggovi uklonski strukturi (angl. Fiber Bragg grating) in je po navadi sestavljen iz različnih (diskretnih) komponent za posamezno valovno dolžino. Drugi tip temelji na uporabi planarnih svetlovodnih struktur (angl. Planar Lightwave Circuits – PLC), ki so najpogosteje izvedene na podlagi tehnologije fotoničnega integriranega vezja (angl. Photonic Integrated Circuits – PIC). Večinoma ti WDM-razcepniki vsebujejo razvrstitevno valovodno strukturo (angl. arrayed waveguide gratings – AWG). Tovrstni multiplekserji lahko upravljajo veliko kanalov in omogočajo vzporedno procesiranje. Prednost teh naprav je tudi mogoča integracija z drugimi pasivnimi ali aktivnimi komponentami omrežja.

V zadnjem desetletju so komponente PLC bistveno vplivale na izboljšanje zmogljivosti jedrnega omrežja. Po pričakovanjih naj bi se ta trend nadaljeval tudi v prihodnjih generacijah dostopovnih omrežij.

4.2 Zgradba WBF

Kot smo že omenili, je TFF lahko primeren tudi za izdelavo nizkocenovnih WBF, ki temelji na preprostih operacijah filtriranja. Prednost takšnega WBF je neodvisnost od enote ONT. Navadno je sestavljen iz zaporedja zelo tankih plasti z nizko absorpcijo svetlobe. Debelina je primerljiva z valovno dolžino svetlobe. Plasti so sestavljene kot zaporedje materialov z visokim in nizkim lomnim količnikom [14].

Interferenca svetlobe, ki vstopa v večplastno strukturo, zgrajeno iz določenega števila izmeničnih tankih plasti, ima spektralno odvisen odziv, ki je značilnost sita (prepustnost ali odbojnost optičnih signalov). Parametri, kot so število plasti, njihova debelina in sestava ter optične lastnosti, bistveno vplivajo na propustnost TFF. To omogoča, da lahko sito TFF prilagodimo določenim potrebam oz. različnim aplikacijam. Z drugimi besedami, sito lahko zasujemo tako, da dobimo želeno spektralno prepustnost ali odbojnost.

V skladu s priporočilom FSAN/ITU-T G.984.2 morajo WBF imeti vsaj 32 dB slabljenja zunaj zelenega valvnodolžinskega pasu, največ 5 dB slabljenja znotraj zelenega valvnodolžinskega pasu in kvalitativno čim boljši faktor kontrasta (dB/nm).

5 SKLEP

Naslednje generacije sistemov PON povečujejo zmogljivosti omrežja predvsem v smeri povečanja bitne hitrosti prenosa, delilnega razmerja in dosega. NG-PON1, ki združuje že standardiziran sistem XG-PON1 in še ne standardiziran XG-PON2, v primerjavi z dobro uveljavljenim sistemom GPON omogoča povečanje bitne hitrosti z 2,5 Gbit/s na 10 Gbit/s v dotoku podatkov, povečanje delilnega razmerja z 1:64 na 1:128 in povečanje dosega iz 20 na 60 km.

V pripravi je standard za NG-PON2, ki naj bi nasprotno od dosedanjih napovedi ohranjal sobivanje z obstoječimi sistemi PON (GPON, NG-PON1), kar bi zaščitilo interes operaterjev za čim manjše investicije v nadgradnjo omrežja. NG-PON2 naj bi temeljil na tehnologiji kombinacije časovnega in valvnodolžinskega razvrščanja (angl. Time Wavelength Division Multiplexing – TWDM).

V Sloveniji ostaja vprašanje sistemov PON odprto. Dva operaterja, ki ponujata storitve prek optične povezave, sta se pred leti, ko PON-sistemi še niso bili tako uveljavljeni, kot so danes, odločila za arhitekturo točka-točka (P2P). Gradnja omrežja, ki temelji na arhitekturi P2P, je v primerjavi s sistemi PON pogosto povezana z višjimi stroški, ki so posledica večjega obsega polaganja optičnih vodil, večje porabe vlakna, energije, aktivne opreme ipd. Vprašanje je, kolikšen bo v prihodnje interes omenjenih ponudnikov za posodobitev oziroma preoblikovanje obstoječe optične arhitekture v skladu s tehnologijo NG-PON in kako bo to izvedeno.

Pomembno je, da je prehod na novo tehnologijo kar se da preprost in »mehak«, ne da bi uporabniki to občutili. Da bi to dosegli, mora standard, ki novo tehnologijo opredeljuje, predvideti sobivanje s predhodno tehnologijo. V ta namen se zdi za doseganje združljivosti sistemov GPON in NG-PON1 trenutno najboljša izbira uporaba filtrov WBF na podlagi tehnologije TFF pri uporabnikih skupaj z razcepniki WDM, namenjenimi ločevanju signalov različnih izvorov v centrali [14]. Pri doseganju koeksistence na fizični ravni je delovanje sistema v istem ODN; na prenosni konvergenčni ravni pa je pomembno predvsem to, da sta upravljanje in enkapsulacija v sistemu NG-PON1 in GPON enaka.

LITERATURA

- [1] Nielsen, "Nielsen's Law of Internet Bandwidth". <http://www.useit.com/alertbox/980405.html>, Retrieved 2008-02-27
- [2] VOLK, Mojca, GUNA, Jože, KOS, Andrej, BEŠTER, Janez. Quality-assured provisioning of IPTV services within the NGN environment. *IEEE commun. mag.*, May 2008, vol. 46, no. 5, str. 118–126.
- [3] B. Batagelj, "Implementation concepts of an optical access network by point-to-point architecture," *Electrotechnical Review*, Ljubljana, Slovenija, pp. 259–266, 2010.
- [4] ITU-T Rec. G.984 series: "Gigabit-capable passive optical networks (G-PON)".
- [5] ITU-T Rec. G.987 series: "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON)".
- [6] B. Batagelj, "Pasivno optično dostopovno omrežje s časovnim razvrščanjem", FE in FRI, Ljubljana, 2011.
- [7] ITU-T Recommendation G.984.6, »Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Reach extension«, 2008
- [8] ITU-T Recommendation. G.987.1: "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON)".
- [9] J.-I. Kani, F. Bourgart, A. Cui, A. Rafel, M. Campbell, R. Davey, and S. Rodrigues, "Next-generation PON part I—Technology roadmap and general requirements," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 11, pp. 43–49, Nov. 2009.
- [10] F. J. Effenberger, H. Mukai, S. Park, and T. Pfeiffer, "Next-generation PON part II—Candidate systems for next generation PON," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 11, pp. 50–57, Nov. 2009.
- [11] Frank J. Effenberger, "The XG-PON System: Cost Effective 10 Gbit/s Access", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 29, Issue 4, pp. 403–409, 2011.
- [12] F. J. Effenberger, H. Mukai, J.-I. Kani, and M. Rasztoivits-Wiech, "Next-generation PON part III—System specifications for XG-PON," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 11, pp. 58–64, Nov. 2009.
- [13] M.D. Andrade, G. Kramer, L. Wosinska, Jiajia Chen, S. Sallent, B. Mukherjee, "Evaluating strategies for evolution of passive optical networks", *IEEE Communications Magazine*, V. 49, I. 7, 2011.
- [14] J. Mullerova and D. Korcek, "Super-separation thin film filtering for coexistence-type colorless WDM-PON networks," 13th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), pp. 1–4, 26–30 June 2011.
- [15] L. Wosinski, Ning Zhu, Zhechao Wang, "Wavelength selective devices for WDM communication systems", 2009 IEEE 3rd International Symposium on Advanced Networks and Telecommunication Systems (ANTS), New Delhi, 14–16 Dec. 2009.
- [16] ITU-T Rec. G.984.5, Amendment 1: "Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band", Oct. 2009.