

Možnosti izvedb optičnega dostopovnega omrežja z arhitekturo točka-točka

Boštjan Batagelj

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

Povzetek. Članek obravnava približevanje optičnega vlakna mutimedijskemu uporabnikovemu domu pri čemer je njegov cilj zagotavljati storitev trojček. Izmed več možnih rešitev za vlakno do doma je predstavljena arhitektura točka-točka, ki ima topologijo zvezde. Koncept uporablja omrežno tehnologijo Ethernet, ki je standardizirana v IEEE 802.3 standardu. Predstavljene so možnosti izvedbe arhitekture točka-točka kot ene dvosmerne ali dveh enosmernih zvez prek enorodovnega optičnega vlakna G.652(D) ali G.657A/B. Prek posamičnega vlakna ali vlakenskega para je mogoče uporabljati različne kombinacije valovnih dolžin 1310 nm, 1490 nm in 1550 nm za prenos podatkov, govora in videa. Za prenos videa sta obravnavani dve rešitvi, ki sta umeščeni v izbiro primernih valovnih dolžin. Podrobno je opisana rešitev prenosa analognega videesignala prek optičnega vlakna, ki ima zaradi svojih fizikalnih omejitev arhitekturo točka-več točk s topologijo drevesa. V članku je izdelana primerjava med različnimi tehničnimi rešitvami in ugotovljena njihova vrednost glede na učinkovitost in pocenitev optičnega dostopovnega omrežja. Izkaže se, da je arhitektura točka-točka zelo prikladna za razvezavo in priklop novih operaterjev, kar spodbuja konkurenčnost na telekomunikacijskem trgu širokopasovne dostopovne infrastrukture, vendar za sobivanje dveh operaterjev zahteva zamenjavo aktivne opreme.

Ključne besede: optično dostopovno omrežje, točka-točka, vlakno do doma, storitev trojček, standardi optičnega omrežja

Implementation concepts of an optical access network by point-to-point architecture

Extended abstract. This paper presents the approaching of the optical fiber to the user's increasingly multimedia-oriented home in order to deliver a triple-play service. From a number of different fiber-to-the-home (FTTH) solutions (Fig. 1), this paper presents a point-to-point (P2P) architecture using the star topology, which is the simplest of all the FTTH fundamental topologies. In the case of the star topology (Fig. 2), each user has a dedicated fiber-optics link to the central office, in contrast to the tree point to multi-point (P2MP) topology (Fig. 3), where the fiber is shared between more users in some sections. The P2P solution can provide a higher bandwidth per customer than P2MP. The P2P system uses the Ethernet network technology which is standardized in IEEE 802.3. Different combinations of the 1310 nm, 1490 nm and 1550 nm wavelengths (Fig. 4) can be used for data, voice and video services transfer through a single fiber or fiber pair. Voice communication is transmitted as Voice over IP (VoIP), where an analog voice signal is converted to a digital format, compressed into the internet protocol (IP) packets and then transmitted. A video signal can be delivered either as IP traffic using the IPTV solution or via RF video broadcasting over a passive optical network (Fig. 5). For RF video broadcasting, the fiber with Angled Physical Contact (APC) connectors is needed. The 1550 nm wavelength is used since amplification of the optical signal in the Central Office (CO) is possible using the well-known Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) technology. The RF video signal carried by a dedicated wavelength from a Video Central Office is first split into multiple identical streams by an optical splitter and then fed into each P2P fiber. The tree architecture is similar to those

used in passive optical networks, but in this case the split factors (e.g. 64) exceed those typically used for PONs. Optical splitting can also be done outside the central office, but with a lower splitting factor (e.g. 32) since Stimulated Brillouin Scattering limits transmission.

This paper presents a comparison between different combinations of wavelengths and traffic directions, with a focus on the system's effectiveness and cost-effectiveness. The point-to-point system can be designed either as a two-way single-directional or one-way bi-directional link. In the case when only one fiber is used between the central office and a household (Fig. 6), all services should coexist in one physical line (Fig. 7). A combination of bidirectional data transfer and RF video broadcasting is technically demanding (Fig. 8). The bidirectional data transfer (Figs. 9 and 10) requires wavelength splitters to separate the 1310 nm upstream wavelength and the 1490 nm or the 1550 nm downstream wavelength. When two fibers are used between the central office and a household, more combinations for the wavelength selection are available (Fig. 11). For instance, one fiber can be used for data transfer and another for broadcasting analog video signals (Fig. 12). In this case (Figs. 13 and 14) analog and digital signal are completely separated. The configuration shown in Fig. 14 is used by Telekom Slovenije. In the case where the upstream and downstream traffic are separated (Fig. 15), coexistence of the analog signal and data on the same fiber is present (Figs. 16 and 17). Technically speaking, the simplest solution is to transmit only the data traffic (Fig. 18). If 1310 nm is used for upstream and downstream, receivers and transmitters are equal. In this case, simple and inexpensive media converters can be used.

Both of the Slovenian main providers use the solution which involves a pair of dedicated fibers per customer between the Central Office (CO) and the home. While T-2 uses one fiber

for downstream and another for upstream of the Ethernet traffic (Figure 17), the installations of Telekom Slovenije use one fiber for both downstream and upstream of the Ethernet traffic, while the second is used for distribution of analog RF video (Figure 14).

The P2P architecture has the highest bandwidth potential and each single link is easily upgraded for higher rates. The P2P architecture is very suitable for unbundling and connecting of new operators that stimulates competition in the telecommunication market, but coexistence of two operators on the same infrastructure requires upgrading or even replacement of the active equipment.

Keywords: Optical access network, point-to-point (P2P), fiber-to-the-home (FTTH), triple-play service (TPS), Optical network standards

1 Uvod

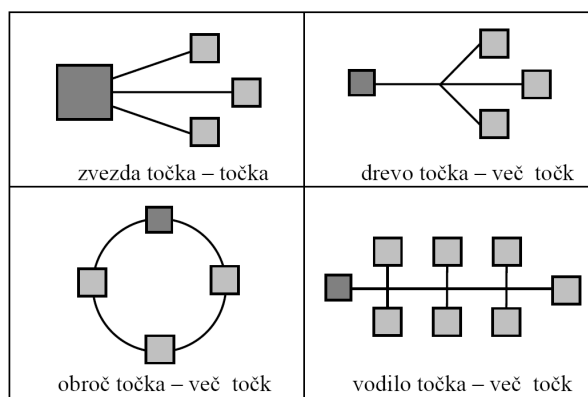
Uporabniška domača bivalna okolja, ki postajajo čedalje bolj multimedijška in inteligentna [1], za svoje delovanje potrebujejo širokopasovno dostopno omrežje. Širokopasovnost je danes pojmovana kot vrsta dostopa, ki omogoča prenos podatkov z zmogljivostjo vsaj 2 Mbit/s, vendar se ocenjuje, da bi končni uporabnik v bivalnem okolju potreboval vsaj 75 Mbit/s [2]. Evropska komisija v Digitalni agendi za Evropo [3] navaja konkreten cilj, po katerem naj bi imela do leta 2020 vsa gospodinjstva možnost dostopa do 30 Mbit/s in vsaj polovica gospodinjstev do 100 Mbit/s. Seveda je najprimernejši kandidat za izvedbo takšnega širokopasovnega dostopnega omrežja tehnologija, zasnovana na optičnem vlaknu.

Optično dostopno omrežje, ki pelje stekleno vlakno do uporabnikovega doma (angl. Fiber To The Home – FTTH), je mogoče izvesti v več različnih topologijah. Povezava med centralo in uporabniki je lahko po arhitekturi točka-točka (angl. Point-to-Point – P2P) [4] ali točka-več točk (angl. Point to Multi Point – P2MP). Za izvedbo omrežnih arhitektur se uporabljajo različne logične topologije, ki jih prikazuje slika 1. Tako P2P arhitektura uporablja zvezdno pasivno topologijo, P2MP pa drevesno pasivno ali aktivno topologijo ter topologijo obroča in topologijo vodila. Topologije obroča in vodila v dostopnih omrežjih pri praktičnih izvedbah ne srečujemo.

Optično dostopno omrežje se je v praksi uveljavilo v dveh različicah. Prva arhitekturna možnost, ki se je začela uveljavljati v praksi na začetku razvoja optičnih dostopnih omrežij v Skandinaviji, je P2P. Pri tem je optična pasivna infrastruktura, ki jo predstavlja optično vlakno, nameščena iz centralne postaje (angl. Central Office – CO) do uporabnikovega doma, kot prikazuje slika 2. V CO so nameščene sprejemno-oddajne enote oziroma tako imenovani optični linijski terminali (angl. Optical Line Terminal – OLT) na vsakem uporabnikovem domu pa je optična omrežna enota (angl. Optical Network Terminal – ONT).

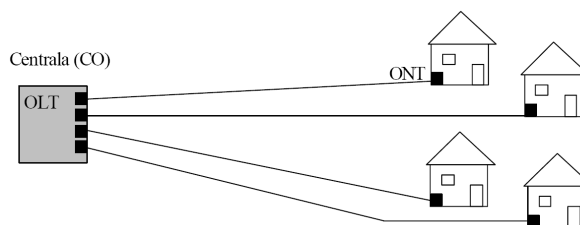
Druga možnost pri gradnji optičnega dostopnega omrežja je arhitektura P2MP, ki jo v literaturi zasledimo

tudi pod zelo neustreznimi imeni, kot so pasivno optično omrežje (angl. Passive Optical Network – PON) [5], [6], ojačeno pasivno optično omrežje (angl. Amplified Passive Optical Network – APON) in aktivno optično omrežje (angl. Active Optical Network – AON), ki jih prikazuje slika 3. Pasivnost in aktivnost topologije določajo elementi, ki gradijo optično dostopno omrežje med centralno postajo in uporabnikovim domom. Če ti za svoje delovanje potrebujejo električno napajanje, imamo aktivno topologijo, sicer pa pasivno.



Slika 1: Najbolj običajne logične topologije optičnega omrežja (zvezda točka-točka, drevo točka-več točk, obroč točka-več točk, vodilo točka-več točk)

Figure 1. Most common optic network logical topologies (star point-to-point, tree point-to-multi point, ring point-to-multi point, bus point-to-multi point).



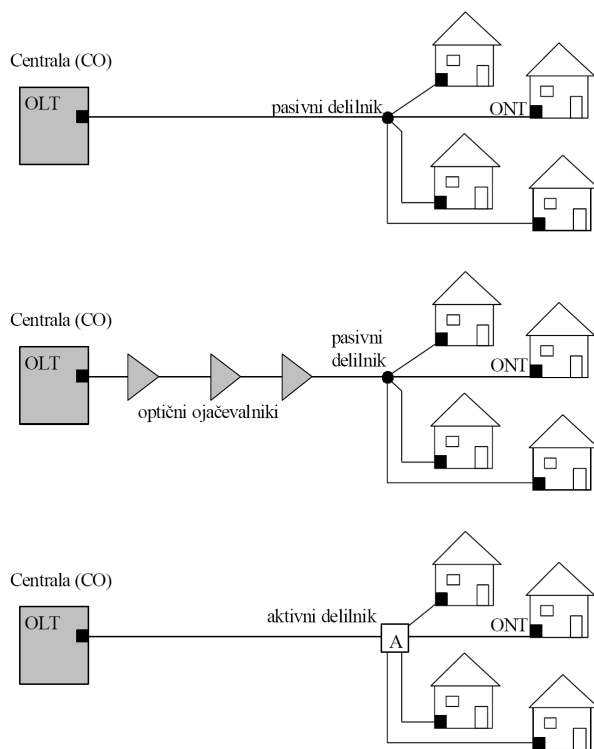
Slika 2: Arhitektura točka-točka s topologijo zvezde. Vsak optični omrežni terminal je direktno povezan s pripadajočim optičnim linijskim terminalom, ki je nameščen v centralni postaji

Figure 2. Point-to-point architecture with a logical star topology. Each Optical Network Terminal (ONT) connects directly to the Optical Line Terminal (OLT) located in the central office (CO).

2 Tehnološke lastnosti pasivne zvezde

Za zvezdno pasivno topologijo je značilno, da ima vsak uporabnik svoje vlakno, katerega si ne deli z drugimi uporabniki. To omogoča večje prenosne zmogljivosti na posameznega uporabnika [7], vendar podraži gradnjo, saj je treba položiti in zvariti veliko vlaken. Poleg tega mora pripadati vsakemu uporabnikovemu ONT po en OLT v CO, za kar je treba več prostora v CO. Že sama

gostota konektorjev v CO lahko povzroča probleme zaradi pomanjkanja prostora.



Slika 3: Možnosti izvedbe dostopnega omrežja z drevesno topologijo po arhitekturi točka-več točk. (zgoraj: pasivno optično omrežje, sredina: ojačeno pasivno optično omrežje, aktivno optično omrežje)

Figure 3. Possible implementation concepts of an optical access network using the point to multi point architecture. (top: Passive Optical Network, middle: Amplified Passive Optical Network, bottom: Active Optical Network).

Veliko zvarov je največja slabost pasivne zvezde, ker podraži gradnjo in njeno vzdrževanje. Če se kabel pretrga je treba zvariti veliko vlaken, kar je zelo zamudno. Čas pri varjenju vlaken je mogoče skrajšati s pomočjo uporabe kabla, kjer so vlakna zložena v vrsto (angl. Ribbon Fiber Cable) [8], [9]. Tovrstni kabli, kjer je mogoče variti po več vlaken hkrati, so že dlje časa na trgu, vendar se v praksi niso uveljavili zaradi potrebe po specifični varilni opremi, saj jih s klasičnimi varilniki ni mogoče učinkovito spajati.

Za izvedbo pasivne zvezde se zaradi daljših razdalj uporablja enorodovno optično vlakno (angl. Single Mode Fiber – SMF). Standardno enorodovno vlakno je znano pod ITU–T oznako G.652 v različicah A, B, C in D, vendar se za optična dostopna omrežja zlasti v notranjih prostorih priporoča vlakno G.657. Standard G.657 ima dve podskupini G.657A in G.657B. V obeh primerih je to vlakno dokaj odporno na krivinsko slabljenje, saj je dovoljen krivinski polmer pri G.657A 10 mm, pri G.657B pa je dovoljen krivinski polmer še manjši in znaša 7,5 mm.

G.657A vlakno je primerno za prenos v O, E, S, C in L pasu (od 1260 nm do 1625 nm). Vlakna v tej kategoriji imajo enake prenosne in medsebojno povezovalne lastnosti kot vlakna G.652D, le da imajo izboljšano krivinsko slabljenje.

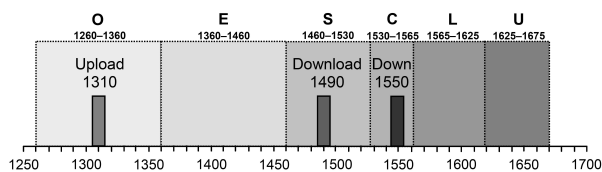
Vlakno G.657B je primerno za prenos pri 1310 nm, 1550 nm in 1625 nm. Ta vlakna zahtevajo drugačno varjenje in imajo drugačne povezovalne lastnosti kot vlakno G.652. Vlakna G.657B so primerna za vgradnjo v stavbe, saj dovoljujejo zelo majhen upogibni polmer (do 7,5 mm) [10].

Za prenos podatkov v zvezdni pasivni topologiji P2P se uporablja omrežna tehnologija Ethernet, ki se sicer uporablja v številnih omrežjih posameznikov in podjetij. Pri standardizaciji naprav Ethernet in zagotavljanju interoperabilnosti med različnimi proizvajalci sodelujeta dve večji združbi: EFM (angl. Ethernet in the First Mile) pod okriljem IEEE (802.3ah Task Force) in MEF (angl. Metro Ethernet Forum). V omenjenih združbah je bil definiran standard 802.3 [11] za prenos podatkov v dostopnih optičnih omrežjih. Standard zajema naslednje vmesnike za enorodovno optično vlakno:

- 100BASE–LX10 (100 Mbit/s simetrično, dvo-vlakenski sistem do 10 km za valovno dolžino 1310 nm).
- 100BASE–BX10 (100 Mbit/s simetrično, eno-vlakenski sistem do 10 km). Uporablja enorodovno vlakno z optičnim delilnikom za ločevanje sprejemnega in oddajnega signala na valovni dolžini 1310/1550 nm. Zahteva različno terminalno opremo na vsaki strani vlakna, saj oddaja iz centralne postaje proti uporabniku poteka na valovni dolžini 1550 nm, v nasprotni smeri pa na 1310 nm.
- 1000BASE–LX10 (1 Gbit/s simetrično, dvo-vlakenski sistem do 10 km).
- 1000BASE–BX10 (1 Gbit/s simetrično, eno-vlakenski sistem do 10 km). Uporablja optične delilnike 1310/1550 nm enako kot 100 Mbit/s BX.
- 10GBASE (10 Gbit/s) osnovanega v 208.3av [12].

V trenutnih storitvah je za končnega uporabnika popolnoma vseeno, ali razpolaga z 100 Mbit/s ali višjo prenosno hitrost, saj višje prenosne hitrosti še niso podprte z uporabnikovimi aplikacijami.

Optična dostopna omrežja so primerna za prenos govora, podatkov in videa, kar s skupnim imenom pojmuje kot storitev trojček (angl. Triple-Play Service). V ta namen so v optičnih komunikacijah na voljo tri valovne dolžine: 1310 nm, 1490 nm in 1550 nm, kot prikazuje slika 4. Govor v obliki telefonskih pogovorov se prenaša kot podatkovni promet skupaj s preostalim podatkovnim internetnim prometom, največkrat kar v obliki VoIP. Pri tem se analogni glasovni signal pretvori v digitalni format, ki se komprimira v internetne pakete, pripravljene za prenos.



Slika 4: ITU-T opredelitev telekomunikacijskih valovnodolžinskih področij s tremi področji delovanja. 1310 nm se uporablja za odtočni promet, 1490 nm in 1550 nm se uporabljata za pritočni promet

Figure 4. ITU-T definition of the telecommunication wavelength bands with three operating windows. 1310 nm is used for upstream. 1490 nm and 1550 nm are used for downstream.

Video je mogoče prenašati na dva načina:

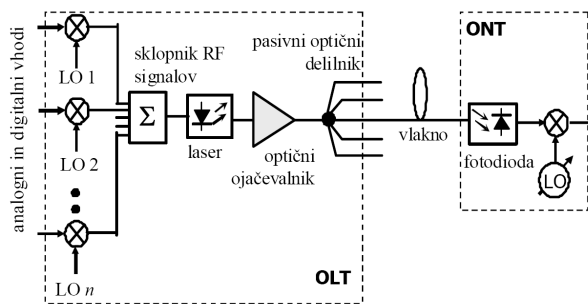
- s pomočjo IP-paketov ali
- kot analogni RF-signal.

Pri prvem načinu je tok podatkov komprimiran z ustreznim formatom (MPEG-2, MPEG-4) ter razbit in zapakiran v IP-pakete. Po prenosu je na uporabnikovem domu slika rekonstruirana. Za spremljanje digitalnega videa je potreben televizijski vmesnik (angl. Set Top Box – STB), ki dekodira kanale s kodekom, s katerim je kompresiran in nadziran potek videa. Taki televiziji pravimo IPTV (angl. Internet Protokol TV). IP-video prenašamo skupaj s preostalim podatkovnim prenosom na podatkovni zvezi med centralo in uporabnikom.

Prenos videa z radiofrekvenčnimi signali (angl. radio frequency – RF) imenujemo analogni prenos videa ne glede na to, ali prenašamo analogni ali digitalni video. Analogni video uporablja amplitudno modulacijo (AM), digitalni pa za svoj prenos uporablja kvadraturno amplitudno modulacijo (m-QAM). Za sprejem analognega videesignala samo preklapimo televizor z antene na ONT.

Pri prenosu RF-videa je potrebna večja izhodna optična moč, da se kompenzirajo izgube na vlaknu in pri delitvi signala na večje število uporabnikov. Izhodni optični signal je vedno ojačen z Erbijskim optičnim ojačevalnikom (angl. Erbium Doped Fiber Amplifier – EDFA). Ker EDFA ojači signale v pasu 40 nm okrog centralne valovne dolžine 1550 nm, se za prenos analognega videesignala vedno uporablja valovna dolžina 1550 nm. V centrali se poleg posamezne sprejemno-oddajne enote OLT za vsakega uporabnika nahaja tudi skupna enota za distribucijo RF videesignala, imenovana video OLT. Ta lahko prek EDFA ojačevalnika teoretično oskrbuje s signalom do 64 uporabnikov hkrati, kar je več kot pri navadnem PON.

Pasivni optični delilnik je nameščen v OLT takoj za EDFA, čeprav bi lahko bil tudi nekje med OLT in ONU. Vendar bi v tem primeru na vlaknu med EDFA in delilnikom prihajalo do Brillouinovega sipanja, saj je pred delitvijo v vlaknu optična moč signala nad pragom Brillouinovega sipanja [13]. S premaknitvijo optičnega delilnika zunaj OLT se posledično zniža delilno razmerje na vsaj 32 izhodov.



Slika 5: Prenos videesignala prek optičnega vlakna z delitvijo na RF podnosilnike. Arhitektura sistema je podobna PON, a je optični pasivni delilnik nameščen v OLT. Frekvenca posameznega podnosilca je določena z lokalnim oscilatorjem (LO).

Figure 5. Transmission of the video signal over the optical fiber by RF subcarrier multiplexing. The system architecture is similar to that of PON but with the difference that the optical passive splitter is located in OLT. The frequency of the subcarrier is determined by the local oscillator (LO).

Ker je analogni videesignal zelo občutljiv na interferometriški šum, je treba nastanek le-tega preprečiti. V ta namen se uporabljajo optični konektorji z nizkim povratnim slabljenjem oziroma postrani brušeni (angl. Angled Physical Contact – APC) konektorji. Tovrstni konektorji imajo sprednjo stično ploskev brušeno pod kotom 7~8°, kar preprečuje odboje od konektorja.

Poleg analognega videoprenosa se lahko nekateri RF-kanali uporabijo za podatkovni prenos. V tem primeru je pri načrtovanju sistema potrebna večja pozornost zaradi popačitev in presluha z digitalnih na analogne kanale [14]. Tudi tedaj, ko je uporabljen ločen laser za analogne signale s tipičnim razmikom 10 nm prihaja do nezaželenih presluhov, ki jih povzroča Ramanovo sipanje [15].

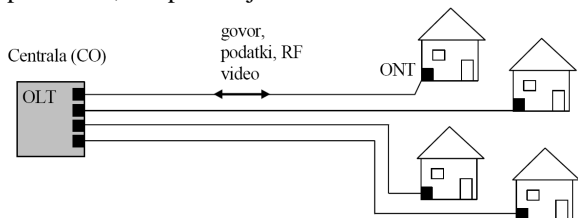
V konfiguracijah, kjer se ne izvaja distribucija analognega videesignala, se lahko signal z valovno dolžino 1550 nm uporablja za prenos podatkov od centrale do uporabnika.

Če je v dostopnem sistemu valovna dolžina 1550 nm že zasedena, se za prenos podatkov od centrale do uporabnika uporablja valovna dolžina 1490 nm. Ta valovna dolžina se je uveljavila, ker so na trgu že obstajali črpalni laserji za podobno valovno dolžino. Ti črpalni laserji so se nekoč uporabljali v Erbijskih ojačevalnikih, zdaj pa so jih od tam izpodrinili črpalni laserji z valovno dolžino 980 nm. Že pripravljena tehnologija za izdelovanje črpalnih laserjev visokih izhodnih moči je v tem primeru znova postala uporabna.

Ker sta valovni dolžini 1550 nm in 1490 nm že zasedeni, ostane za prenos podatkov od uporabnika do centrale samo valovna dolžina 1310 nm, ki je prikladna zaradi poceni Fabry-Perotovega (FP) laserja.

3 Prenos po enem vlaknu

Pri uporabi enega samega vlakna do končnega uporabnika moramo po njem prenašati dvosmerni podatkovni promet. Opcijsko lahko po tem vlaknu prenašamo še analogni videosignal iz centrale do uporabnika, kot prikazuje slika 6.

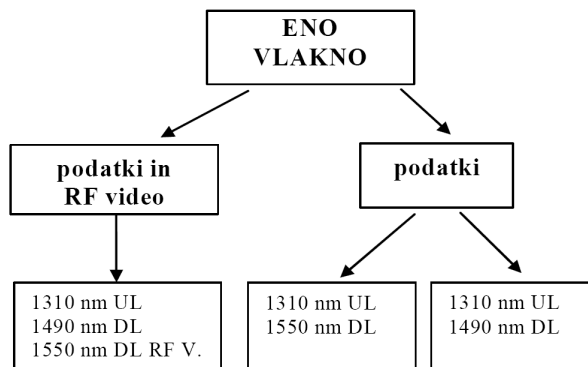


Slika 6: Prenos storitve trojček po enem vlaknu med OLT, nameščenim v centralni postaji, in ONT, nameščenim na uporabnikovi strani

Figure 6. Transmission of a triple-play service over one optical fiber between OLT located in the Central office (CO) and ONT located at the customer side.

Prenos po enem vlaknu lahko ločimo v dva scenarija, kot prikazuje slika 7:

- prenos podatkov in
- prenos podatkov in analognega signala.



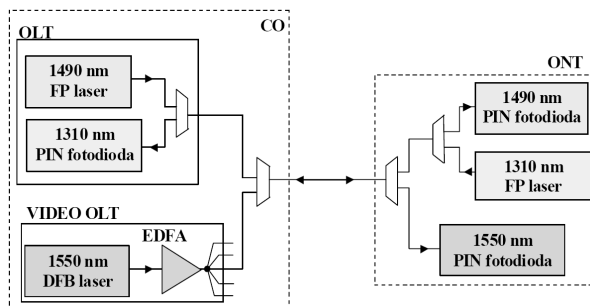
Slika 7: Možnosti razporeditev valovnih dolžin pri prenosu po enem vlaknu

Figure 7. Possible wavelength arrangement with single-fiber transmission.

Za distribucijo RF videosignala se vedno uporablja valovna dolžina 1550 nm (slika 8). Za zvezo od uporabnika do centrale – odtočni promet (angl. Upstream) imamo samo eno valovno dolžino, 1310 nm, prek katere pošiljamo celoten promet, ki ga ustvari uporabnik. Za zvezo od centrale do uporabnika – pritočni promet (angl. Downstream) se uporablja valovna dolžina 1490 nm. Ta sistem ima isto zasedbo valovnih dolžin kot PON, kar je svojevrstna kompatibilnost, vendar pa so delilniki na tri valovnodolžinska področja težje izvedljivi.

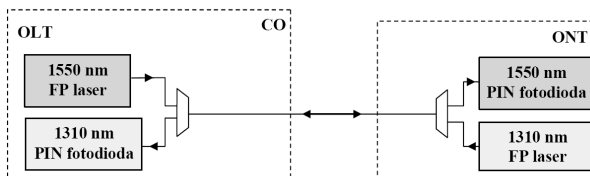
Za odtočni promet se lahko uporablja tudi valovna dolžina 1550 nm, ko se na tej valovni dolžini ne prenaša analogni videosignal (slika 9). Tovrstna rešitev je tudi standardizirana v 802.3 pod oznako BX. Sistem, kjer

prenašamo samo podatke, je ceneje izdelati s pomočjo optičnih sklopnikov 1310/1550 nm, vendar je sistem, ko uporabljamo 1490 nm namesto 1550 nm, primernejši za nadgradnjo v prenos RF videa, ker je 1550 nm še prosta (slika 10).



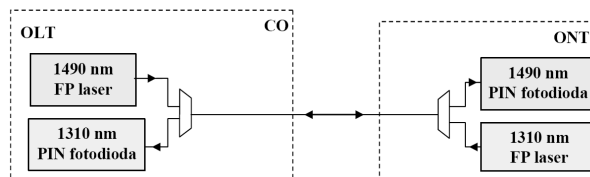
Slika 8: Kombiniranje dvosmernih podatkov in analognega videosignala prek enega vlakna na treh valovnih dolžinah

Figure 8. Combining bidirectional data transmission and analog video signal broadcasting over a single fiber using three wavelengths.



Slika 9: Kombiniranje dvosmernih podatkov prek enega vlakna z valovnimi dolžinama 1310 nm in 1550 nm

Figure 9. Combining bidirectional data transmission over a single fiber using wavelengths of 1310 nm and 1550 nm.



Slika 10: Kombiniranje dvosmernih podatkov prek enega vlakna z valovnimi dolžinama 1310 nm in 1490 nm

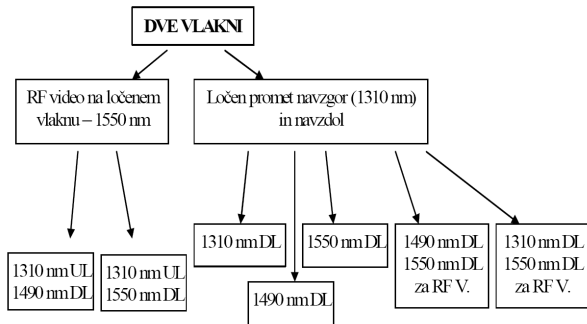
Figure 10. Combining bidirectional data transmission over a single fiber using wavelengths of 1310 nm and 1490 nm.

4 Prenos po dveh vlaknih

Pri prenosu po dveh vlaknih sta tudi mogoča dva osnovna scenarija, ki ju prikazuje slika 11. Prva je, da uporabimo eno vlakno za prenos RF signala in drugo za govor in podatke. Druga možnost je, da imamo eno vlakno samo za pritočni promet in drugo samo za odtočni promet.

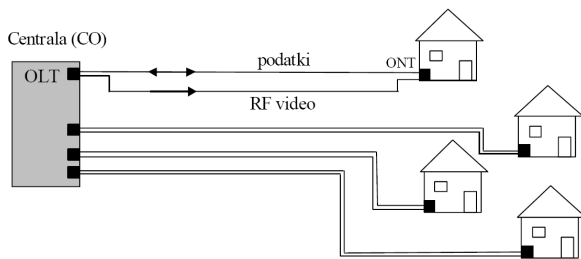
Ko imamo na voljo dve optični vlakni (slika 12) do vsakega uporabnika, lahko po enem vlaknu na valovni dolžini 1550 nm prenašamo samo RF-videosignal v

smeri od centrale do uporabnika. Ker je analogni RF-videosignal občutljiv za interferometriški šum, je treba zvezo opremiti s konektorji APC.



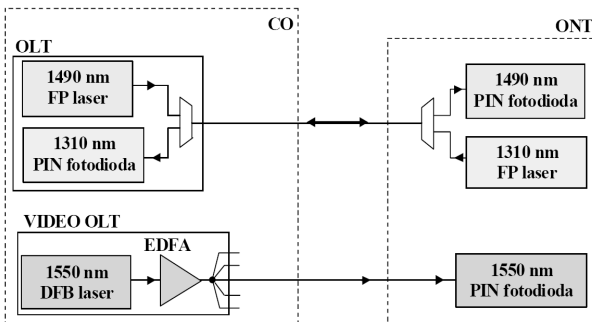
Slika 11: Možnosti razporeditev valovnih dolžin pri prenosu po dveh vlaknih

Figure 11. Possible wavelength arrangement with dual-fiber transmission.



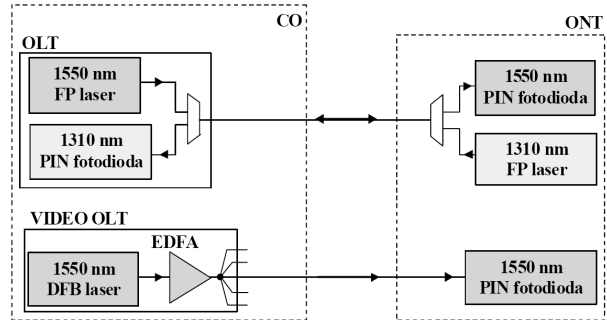
Slika 12: Ločeno vlakno za RF video in vlakno za podatke
Figure 12. Separation of RF video and data between two optical fibers.

Po drugem vlaknu prenašamo podatke in govor na različnih kombinacijah vseh treh valovnih dolžin, kot prikazujeta sliki 13 in 14. To je tudi primer, ki ga uporablja pri gradnji svojega optičnega dostopovnega omrežja Telekom Slovenije [16], pri čemer zagotavlja simetrični prenos tudi do 100 Mbit/s.



Slika 13: Kombiniranje prenosa analognega videosignala prek enega vlakna z dvosmernim podatkovnim prometom na drugem vlaknu. Primer uporabe 1490 nm za pritočni promet.

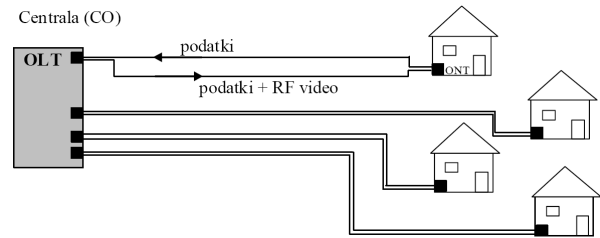
Figure 13. Combining analog video signal transmission through one fiber with bidirectional data traffic on a second fiber. In this case 1490 nm is used for downstream.



Slika 14: Kombiniranje analognega videosignala prek enega vlakna z dvosmernim prometom na drugem vlaknu. Primer uporabe 1550 nm za odtočni promet.

Figure 14. Combining analog video signal transmission through one fiber with bidirectional data traffic on the second fiber. In this case 1550 nm is used for downstream.

Pri ločenem prenosu podatkov po dveh enosmernih optičnih vlakenskih zvezah imamo eno vlakno za odtočni promet in drugo za pritočni promet, kot prikazuje slika 15.

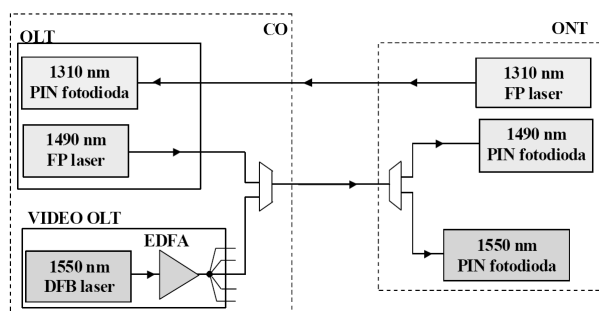


Slika 15: Ločeno vlakno za odtočni in pritočni promet.
Figure 15. Separation of upstream and downstream traffic between two optical fibers.

Če želi operater prenašati RF-video, sta mogoča dva scenarija. Pri prvem, ki ga prikazuje slika 16, se za pritočni promet uporablja 1490 nm, kar vnaša uporabo ne zelo razširjenih optičnih delilnikov. Pri drugem scenariju se za pritočni in odtočni podatkovni promet uporablja 1310 nm, kot prikazuje slika 17. Oddajniški in sprejemniški del za podatkovni promet sta v OLT in ONT identična, kar bistveno poceni opremo.

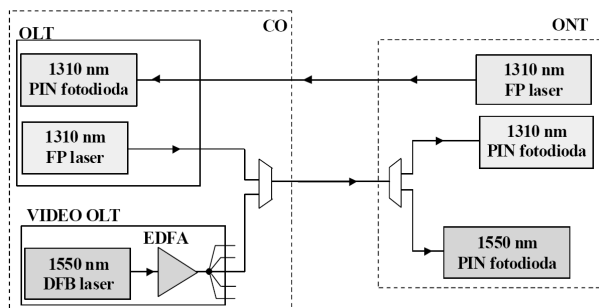
Če operater ne želi prenašati RF-videa od centrale do uporabnika, so mogoči trije scenariji, saj je valovna dolžina 1310 nm najprimernejša za prenos prometa od uporabnika v centralo. Za promet od centrale proti uporabniku so v tem primeru lahko uporabljene vse tri valovne dolžine (slika 17). Ko se za obe smeri uporablja valovna dolžina 1310 nm, je omrežje še posebno preprosto in poceni izvedljivo. V tem primeru se za aktivno opremo uporabljajo kar preprosti in množično dobavljivi pretvorniki iz optičnega vlakna na baker in nasprotno (angl. Media Converters), ki so med seboj po večini združljivi. To je tudi rešitev, ki jo uporablja pri gradnji svojega optičnega dostopovnega omrežja T-2 [17] in omogoča tudi do 1 Gbit/s simetrični dostop. Dostopovno omrežje, ki je zgrajeno samo na valovni dolžini 1310 nm, je tudi najmanj občutljivo na krivinske

izgube [18], kar je svojevrstna prednost pri gradnji omrežja. V primerih, ko je uporabljena za dotočni promet valovna dolžina 1490 nm ali 1550 nm, imamo v smeri proti uporabniku večjo zalogo moči, saj tovrstni laserji oddajajo večjo moč. Večja optična moč v smeri proti uporabniku pa lahko pomeni tudi večjo zmogljivost zveze v tej smeri, kar je običajno za nesimetrične dostope, saj uporabniki potrebujejo več pritočnega kot pa odtočnega prometa.



Slika 16: Ločevanje odtočnega in pritočnega prometa po dveh vlaknih z možnostjo vključevanja distribucije videa. Primer uporabe 1490 nm za pritočni promet.

Figure 16. Separation of upstream and downstream traffic between two optical fibers with the possibility of video broadcasting. In this case 1490 nm is used for data downstream.

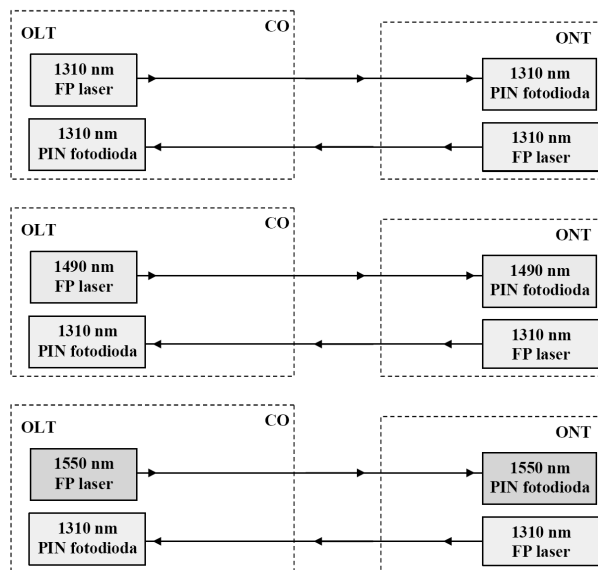


Slika 17: Ločevanje odtočnega in pritočnega prometa po dveh vlaknih z možnostjo vključevanja distribucije videa. Primer uporabe 1310 za odtočni in pritočni promet.

Figure 17. Separation of upstream and downstream traffic between two optical fibers with the possibility of video broadcasting. In this case 1310 nm is used for data downstream and upstream.

5 Sklep

V članku so predstavljene različice optičnega dostopa v obliki optičnih zvez P2P. Predstavljene so možnosti prenosa in izbira valovne dolžine pri prenosu po enem ali dveh vlaknih. Od centrale do uporabnika vedno načrtujemo dvosmerno podatkovno zvezo. Prenos videovsebin (TV-programi in video na zahtevo) pa poteka enosmerno od centrale do uporabnika. Pri tem je lahko video v digitalni ali analogni obliki.



Slika 18: Ločevanje podatkovnega odtočnega in pritočnega prometa po dveh vlaknih. Za namene odtočnega podatkovnega prometa se vedno uporablja valovna dolžina 1310 nm.

Figure 18. Separation of upstream and downstream data traffic between two optical fibers. For the data downstream, the wavelength of 1310 nm is always used.

Prenos RF analognega videosignala je na prvi pogled zastarela tehnologija in po mnenju nekaterih ne spada v sodobna dostopna optična omrežja, kjer distribucijo videosignala lahko prevzame IPTV. Vendar ne smemo pozabiti, da je prenos analognega videosignala s pomočjo podnosilnikov dobro uveljavljena tehnologija pri kabelskih operaterjih, kjer omogoča kakovosten prenos televizijskih signalov. Ko oddajanje TV-signalov prek radijskih oddajnikov konec leta 2010 prehaja na digitalni format, bo mogoče star televizijski aparat še vedno priklopiti na kabelsko ali optično omrežje s prenosom RF-videa. Končni uporabnik vidi pri uporabi RF-videodistribucije tudi prednost v enostavnosti in od operaterja neodvisni delitvi televizijskega signala na več televizijskih sprejemnikov znotraj svojega doma.

Za prenos analognega videosignala se vedno uporablja valovna dolžina 1550 nm, ker se ta signal deli na veliko uporabnikov in ga je treba prej ojačiti s pomočjo EDFA. Za prenos podatkov od uporabnika do centrale se uporabljajo poceni FP-laserji na valovni dolžini 1310 nm.

Pri gradnji P2P je priporočljiva uporaba vlakna z nizkim krivinskim slabljenjem in tehnologijo »ribbon«, ki omogoča hitrejšo gradnjo. Način prenosa prometa se razlikuje po številu vlaken. Najpogosteje uporabljamo dve vlakni, mogoča je tudi izvedba z enim vlaknom, vendar je to po navadi dražja rešitev zaradi sorazmerno dražjih optičnih komponent in oteženega poznejšega vzdrževanja. P2P ima zelo preprosto upravljanje in

vzdrževanje omrežja, ker ga sestavlja minimalno število elementov, zgolj OLT, vlakno in ONT.

Arhitektura P2P je zelo privlačna in s stališča omrežja tudi zagotovo tehnologija, ki bo v prihodnosti dajala velike možnosti za nadgradnjo. P2P je tudi najbolj dolgoročna rešitev glede uvajanja novih storitev oziroma potreb naročnikov.

Gradnjo omrežja P2P spodbuja tudi EU, saj je tovrstna arhitektura primernejša za razvezavo končne optične zanke in uvedbo regulacijskih postopkov v dostopovnem omrežju. P2P je zelo prikladen za razvezavo in priklop novih operaterjev, kar spodbuja konkurenčnost na telekomunikacijskem trgu širokopasovne dostopovne infrastrukture. Žal pa se za sobivanje dveh operaterjev zahteva nadgradnja sistema oziroma celo zamenjava aktivne opreme.

6 Literatura

- [1] M. Umberger, I. Humar, A. Kos, J. Guna, A. Žemva, J. Bešter, Konvergenca storitev za upravljanje bivalnih okolij in multimedije v inteligentnem domu, *Elektrotehniški vestnik*, Volume 75, Number 3, pp. 149 – 154, 2008.
- [2] S.-J. Park, C.-H. Lee, K.-T. Jeong, H.-J. Park, J.-G. Ahn, K.-H. Song, Fiber-to-the-Home Service Based on Wavelength-Division-Multiplexing Passive Optical Network, *Journal of Lightwave Technology*, Volume 22, Number 11, pp. 2582 – 2591, 2004.
- [3] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, *A Digital Agenda for Europe*, COM/2010/0245, Brussels, 19.05.2010.
- [4] M. Volf, *Vlakno do končnega uporabnika po arhitekturi točka-točka*, diplomsko delo, Ljubljana, 2007.
- [5] J.R. Stern, J.W. Ballance, D.W. Faulkner, S. Hornung, D.B. Payne, and K. Oakle, Passive optical local networks for telephony applications and beyond, *Electronics Letters*, Volume 23, Issue 24, pp.1255–1256, 1987.
- [6] B. Batagelj, Evolucija pasivnih optičnih omrežij, *Dvajseta delavnica o telekomunikacijah VITEL*, Ljubljana, Elektrotehniška zveza Slovenije, pp. 9 – 16, 2007.
- [7] P. Chanclou, S. Gosselin, J.F. Palacios, V.L. Alvarez, E. Zouganeli, Overview of the optical broadband access evolution: a joint article by operators in the IST network of excellence e-Photon/One, *IEEE Communications Magazine*, Volume 44, Number 8, pp. 29–35, 2006.
- [8] Y. Katsuyama, S. Hatano, K. Hogari, T. Matsumoto, T. Kokubun, Single-mode optical-fibre ribbon cable, *Electronics Letters*, Volume 21, Number 4, pp. 134 – 135, 1985.
- [9] I. Watanabe, H. Saito, H. Kobayashi, S. Takashima, Subscriber optical fiber cable transfer splicing system using mechanically transferable connectors, *Journal of Lightwave Technology*, Volume 10, Number 6, pp. 720 – 727, 1992.
- [10] K. Himeno, S. Matsuo, Ning Guan, A. Wada, Low-bending-loss single-mode fibers for fiber-to-the-home, *Journal of Lightwave Technology*, Volume 23, Number 11, pp. 3494 – 3499, 2005.
- [11] IEEE 802.3–208 section 5, IEEE, 2008.
- [12] IEEE 802.3av, IEEE, 2009.
- [13] X.P. Mao, G.E. Bodeep, R.W. Tkach, A.R. Chraplyvy, T.E. Darcie, R.M. Derosier, Brillouin scattering in externally modulated lightwave AM-VSB CATV transmission systems, *IEEE Photonics Technology Letters*, Volume 4, Number 3, pp. 287 – 289, 1992.
- [14] S. Betti, E. Bravi and M. Giaconi, Analysis of the performance of subcarrier multiplexed (SCM) optical systems, *Computer Networks*, Volume 32, Issue 5, pp. 563 – 569, 2000.
- [15] M. R. Phillips, D. M. Ott, Crosstalk due to optical fiber nonlinearities in WDM CATV lightwave systems, *Journal of Lightwave Technology*, Volume 17, Number 10, pp. 1782 – 1792, 1999.
- [16] D. Černeka, Optično dostopno omrežje Telekoma Slovenije, *15. strokovni seminar optične komunikacije*, Fakulteta za elektrotehniko, 2008si
- [17] J. Zrimšek, Storitve na omrežjih naslednje generacije, *15. strokovni seminar optične komunikacije*, Fakulteta za elektrotehniko, 2008.
- [18] R. Morgan, J. S. Barton, P. G. Harper, and J. D. C. Jones, Wavelength dependence of bending loss in monomode optical fibers: effect of the fiber buffer coating, *Optisc Letters*. Volume 15, Number 17, pp. 947 – 949, 1990.

Boštjan Batagelj je doktoriral leta 2003 na Univerzi v Ljubljani s področja optičnih tehnologij. Od leta 1997 je zaposlen na Fakulteti za elektrotehniko, Katedra za telekomunikacije v Laboratoriju za sevanje in optiko. Kot višji predavatelj in asistent predava ter vodi avditorne in laboratorijske vaje pri več različnih predmetih na telekomunikacijski in multimediji smeri. Je avtor ali soavtor več kot sto objavljenih strokovnih in znanstvenih prispevkov. Sodeluje pri domačih in mednarodnih raziskovalnih projektih s področja optičnih in radijskih komunikacij. Njegovo raziskovalno delo je povezano z dostopovnim omrežjem, optičnim transportnim omrežjem in nelinearnimi optičnimi pojavi. Dr. Boštjan Batagelj je član mednarodnega združenja IEEE.