

Pregled protokolov za vključevanje 5G v GPON

Vesna Prodnik^{1,2}, Tomi Mlinar², Črt Tavčer², Boštjan Batagelj²

¹Vafer d.o.o., Trg republike 3, Ljubljana, 1000 Ljubljana

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: vesna.prodnik@gmail.com

Overview of protocols for 5G integration into GPON

Abstract. Gigabit-capable passive optical network (GPON) is a standard for passive optical networks (PON) with time division multiplexing, the first version of which was released in 2004 and is now the most widely used version of Fiber-to-The Home (FTTH) implementation. In addition to the wired infrastructure, which has also provided fiber to Slovenian homes since 2004, there is a wireless infrastructure in the form of a public mobile network, which today has reached the fifth generation (5G). At first glance, the unconnected networks, GPON and 5G technology solutions are about to merge into a unified access network, as the number of base stations is increasing every day and they are getting closer and closer to the end user, who has broadband access with fiber. The article discusses the opportunities for integrating 5G with GPON and highlights the limitations that the GPON protocol poses for the convergence solution. The focus is on reviewing protocol versions to allocate bandwidth and enable low latency in 5G.

1 Uvod

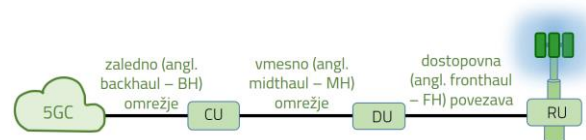
Gigabitno pasivno optično omrežje (angl. gigabit-capable passive optical network – GPON) predstavlja standard [1] za pasivna optična omrežja (angl. passive optical network – PON) s časovnim razvrščanjem [2], ki je bil v prvi različici objavljen že leta 2004 in je danes postal najbolj razširjena različica izvedbe vlakna do doma (angl. fiber to the home – FTTH) [3]. Poleg vrvične infrastrukture, ki opremlja slovenska gospodinjstva z optičnim vlaknom od leta 2004, se tri desetletja gradi tudi brezvrvična infrastruktura v obliki javnih mobilnih omrežij, katerih razvoj je dosegel že peto generacijo (5G). [4] Na prvi pogled nepovezani tehnološki rešitvi GPON in 5G [5] sta danes soočeni z zlitjem v enovito dostopovno omrežje [6]. Število baznih postaj mobilnih omrežij vsakodnevno narašča in so vedno bližje končnemu uporabniku, ki ima na svoji lokaciji širokopasovni dostop z optičnim vlaknom.

Članek obravnava možnosti za vključevanje 5G v GPON in prikazuje omejitve, ki jih v konvergenčno rešitev prinaša protokol GPON. Poudarek je na pregledu različic protokolov za dodeljevanje pasovne širine in omogočanje nizkih zakasnitev v 5G.

2 Peta generacija javnega mobilnega omrežja

Tako kot v prejšnjih generacijah javnih mobilnih omrežij, tudi v omrežju 5G bazna postaja s pomočjo anten pokriva določeno geografsko področje, imenovano celica. Znotraj celice se nahajajo uporabniki [4]. Od dosedanjih omrežij se 5G predvsem razlikuje po prenosnih zmogljivostih, ki segajo nad 1 Gbit/s [7]. Čeprav ob 5G večina uporabnikov najprej pomisli na večje hitrosti prenosa podatkov, pa napredek upravičeno pričakujemo tudi na področju nemotene razpoložljivosti, povečane odzivnosti, varnosti in varčnosti. Zakasnitve bodo v 5G mnogo manjše, kar bo omogočalo delovanje časovno kritičnih aplikacij, kot so videoigre v oblaku, avtonomna vozila, virtualni svetovi (metaverse), napredek v športu in rehabilitaciji v kombinaciji z biološko povratno vezavo [8] in drugo. Danes v omrežju 4G dosegamo zakasnitev približno 20 ms. Cilj 5G je zmanjšati zakasnitev na 1 ms, trenutno pa smo pri 5 ms.

Projekt 5G PPP je predstavil koncept Xhaul-omrežja, ki prikazuje nivo integracije optičnega in radijskega dela na sliki 1. Koncept je že široko uporabljen v omrežjih 5G. [9] Predstavlja osnovo za prikaz možnosti uporabe različnih optičnih rešitev v dostopovnem (angl. Fronthaul) delu omrežja.



Slika 1: Koncept Xhaul, ki ga tvori radijska enota (angl. radio unit – RU), porazdeljena enota (angl. distributed unit – DU), centralna enota (angl. centralized unit – CU) in 5G jedrno omrežje (angl. core network).

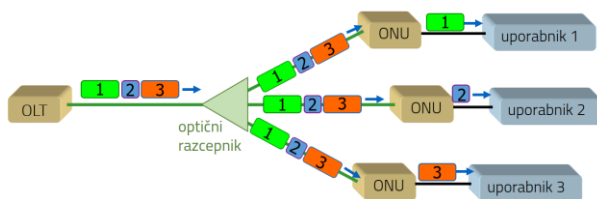
3 Gigabitno pasivno optično omrežje

Prvi znanstveni zapisi o uporabi tehnologije PON segajo v leto 1987 [10]. Njena glavna prednost je neuporaba aktivnih elementov omrežja med centralo in uporabnikom. Za razliko od topologije pasivne zvezde, ki omogoča povezave točka-točka, topologija pasivnega drevesa, ki omogoča povezave točka-mnogo točk, zahteva manjšo količino položenega vlakna in manj prostora v centrali. Poleg tega ima tehnologija PON manjšo porabo električne energije v centrali in omogoča porazdelitev stroškov izgradnje in obratovanja omrežja med več uporabnikov. Začelo se je z željo po uporabi enega vlakna za nekaj uporabnikov, danes pa eno vlakno običajno omogoča storitve do 64 ali celo 128

uporabnikom. Zaradi vseh teh prednosti se je PON začel zgodaj uveljavljati tudi v Sloveniji. [11]

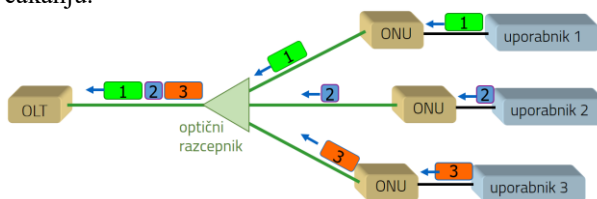
Ker si pri tehnologiji PON več uporabnikov deli eno optično vlakno med centralo in optičnim razcepnikom, je za pravilno prometno delovanje zahtevan standardiziran protokol. Po hitri standardizaciji s strani Mednarodne zveze za telekomunikacije (angl. International Telecommunication Union – ITU-T) v letu 2004 [1] je tehnologija GPON kmalu postala najbolj razširjena tehnološka rešitev za opremljanje končnih uporabnikov. Da se dotočni (angl. downstream) in odtočni (angl. upstream) podatkovni promet na istem vlaknu ne bi motila, najprej poskrbi valovnodolžinsko razvrščanje, nato pa še časovno razvrščanje [12].

Pri prometu iz centrale do uporabnika, kar prikazuje slika 2, se uporablja časovni multipleks na valovni dolžini 1550 nm ali 1490 nm. Optična omrežna enota (angl. optical network unit – ONU) pri uporabniku sprejme vse pakete in izloči samo tistega, ki mu je namenjen. Zaradi vpogleda v celotni odtočni promet, optična omrežna enota deluje na maksimalni prenosni hitrosti, ki je v primeru GPON 2,4 Gbit/s.



Slika 2. Časovni multipleks v dotočnem prometu GPON.

Pri prometu od uporabnikov v centralo, kar prikazuje slika 3, se uporablja časovni sodostop na valovni dolžini 1310 nm. Da bi preprečili kolizije med paketi na optičnem linijskem terminalu (angl. optical line terminal – OLT) v centralni postaji, poskrbi implementiran komunikacijski protokol za časovni sodostop. Ko ena izmed optičnih omrežnih enot govori, so ostale na čakanju.



Slika 3. Časovni sodostop v odtočnem prometu GPON.

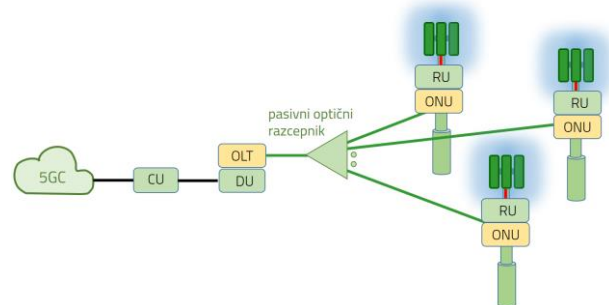
4 Vključevanje 5G v GPON

V osnovi se priključevanje baznih postaj v omrežje 4G vrši preko splošnega javnega radijskega vmesnika (angl. common public radio interface – CPRI) in v 5G preko izboljšane CPRI (angl. enhanced CPRI – eCPRI) [13]. Z naraščanjem števila malih celic in posledično naraščanjem števila baznih postaj, narašča tudi število vlaken, kar naredi rešitev eCPRI drago. Nobenega dvoma ni, da GPON omogoča najnižje stroške na

dostopno točko, ker je najbolj razširjena optična dostopna tehnologija. Zato se je že pred desetletjem porodila ideja o povezovanju WiFi in WiMAX dostopnih točk z PON. [14, 15]

Ideja po priključevanju baznih postaj mobilnega javnega omrežja na GPON se je porodila že v tretji (3G) [16] in četrti generaciji (4G) [17], vendar je svoj pravi raziskovalni razmah doživela s prihodom 5G, ko se število malih celic dodatno povečuje in rešitev namenskega optičnega vlakna za vsako bazno postajo ni več niti tehnično niti ekonomsko izvedljivo. Uporabo PON v mobilnih dostopnih povezavah (angl. mobile fronthaul network) prikazuje slika 4.

Največji vprašnji pri vključevanju mobilnih postaj v GPON sta, kako zagotoviti zadovoljivo prenosno hitrost in kako dovolj nizke zakasnitve. Zakasnitve vplivajo tudi na sinhronizacijo ure v bazni postaji [16]. Poleg tega pa se je potrebno opredeliti do načina prenosa iz GPON do samega jedrnega omrežja mobilnega operaterja.



Slika 4. PON v radijskem dostopnem omrežju.

5 Protokoli za dodelitev prometnih zmogljivosti v GPON

V GPON preko OLT komunicira večje število uporabnikov, pri čemer vsak ONU ustvarja neenakomeren in statistično variabilen promet, ki zavisi od narave uporabnikovih storitev. Zaradi tega se običajno ONU-jem ne dodeljuje enakega časa za komunikacijo, saj imajo lahko zelo različne potrebe po komuniciranju, temveč se ga običajno prilagaja danostim in potrebam naročnikov. V splošnem sta pri GPON poznana dva načina dodeljevanja trajanja oddaje med uporabnike, kar posledično pomeni dodeljevanje prometnih zmogljivosti med uporabnike.

5.1 Statično dodeljevanje prometnih zmogljivosti

Najbolj enostaven način dodeljevanja pasovne širine med uporabnike je fiksna dodelitev pasovne širine (angl. Static (Fixed) Bandwidth Allocation – FBA) za ves čas delovanja omrežja ali dokler se ne spremenijo sporazumne pogodbene obveznosti (angl. Service Level Agreement – SLA) med naročnikom in operaterjem. Naročnik plačuje storitve in dodeljeno prioriteto ne glede na porabljen delež. V tem primeru je čas komuniciranja posameznega ONU v odtoku fiksno dodeljen (lahko tudi različen) ne glede na stanje in

trenutne zahteve po prometu. Zavedati se je potrebno, da fiksna dodelitev pasovne širine ni optimalna rešitev in povečuje zakasnitve v omrežju, saj je enaka komunikacijska časovna rezina dodeljena tudi tistim ONU-jem, katerih prometna intenzivnost je majhna.

5.2 Dinamično dodeljevanje prometnih zmogljivosti

Mnogo bolj prilagodljiva je druga možnost, pri kateri se za dodeljevanje pasovne širine med uporabnike uporablja dinamična dodelitev pasovne širine (angl. Dynamic Bandwidth Allocation – DBA). DBA je mehanizem, s katerim se prometno zmogljivost, ki je v skupni rabi telekomunikacijskega medija, dodeljuje glede na zahteve in porabo določenega uporabnika. Povezava se deli in prilagaja na način trenutnih prometnih zahtev. Pri tem je za komuniciranje posameznega ONU-ja v dotoku dinamično dodeljen različen čas, glede na stanje in zahteve v prometu ter prioriteto. DBA omogoča zanesljivo delovanje in povečuje učinkovitost delovanja omrežja s tem, ko OLT razvršča pasovno širino med uporabnike. Vse podrobnosti o prometu določa OLT po protokolu DBA. Osnova je:

- spremljanje prometa ONU na strani OLT (brez poročanja o stanju, NSR),
- sporočilo ONU-ja o njegovih čakalnih vrstah (s poročanjem o stanju, SR).

GPON torej podpira mehanizme DBA s poročanjem o statusu (angl. Status Reporting – SR) in mehanizme brez poročanja o statusu (angl. Non Status Reporting – NSR). Dinamično dodeljevanje je optimalna rešitev za GPON, saj povečuje izkoristek omrežja, zmanjšuje zgostitve prometa in znižuje zakasnitev.

Pri DBA gre za obliko upravljanja prometnih zmogljivosti, ki je po svoji naravi enaka kot statistični multipleks. Učinkovito delovanje mehanizma DBA omogoča celo povečano število uporabnikov (angl. oversubscription).

DBA uporablja več različnih dejavnikov pri razporejanju virov. Večina uporabnikov namreč ni povezanih istočasno in tudi, če so povezani, ne uporabljajo prenosa podatkov ves čas. Med prometnimi konicami se ustvarjajo luknje, ki jih je mogoče zapolniti s paketi drugih uporabnikov, s čimer se poveča prometna zmogljivost ter zmanjša zakasnitev do uporabnika. Cilji DBA so doseči optimalno izkoriščanje prometnih zmogljivosti, doseči minimalne zakasnitve prometa in upoštevanje prioritete.

5.3 Dinamično dodeljevanje prometnih zmogljivosti brez poročanja o stanju

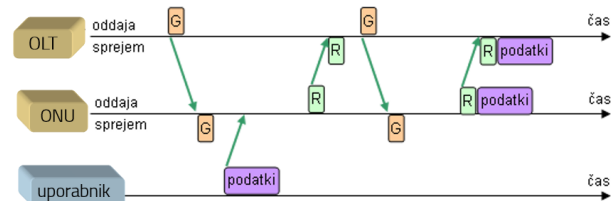
Pri mehanizmih NSR-DBA OLT spremlja obseg odhodnega prometa. V tem primeru ONU-ji ne sporočajo informacije o stanju svojega prometa oziroma o stanju zasedenosti svojega predpomnilnika. OLT samo pošilja podatke, ki jih ima v pomnilniku. OLT, glede na poslano pakete, njihovo velikost in pogostost, s pomočjo algoritma ve kaj se dogaja v ONT-ju in predpomnilniku. OLT sam upošteva tekoče stanje

prometa v odtoku po svojih možnostih, ga nadzira in se na podlagi opazovanja odloča. ONU, ki ima prazno čakalno vrsto, pošilja prazne (angl. idle) okvirje v času alokacijskega intervala. Ti prazni okvirji služijo OLT-ju za NSR-DBA. Pri tem ni potreben noben protokol za komunikacijo med ONU in OLT o stanju čakalne vrste, saj OLT ONU-jem, ki namesto podatkov pošiljajo slepe okvirje, skrajša dodeljeni čas, drugim, ki pošiljajo polne okvirje, pa čas podaljša. OLT interval podaljšuje, vse dokler ne odkrije praznih okvirjev. Ker OLT ocenjuje stanje na osnovi prometa v predhodnem intervalu, NSR-DBA ni najbolj optimalen način, saj vedno deluje z zakasnitvijo. V tem postopku ni mogoče dosegati optimalnih rezultatov, ker lahko OLT preceni ali podceni gostoto prometa. Zaradi tega se poveča zakasnitev. Le SR-DBA omogoča visoko odtočno učinkovitost in nizko zakasnitev.

5.4 Dinamično dodeljevanje prometnih zmogljivosti s poročanjem o stanju

Pri SR-DBA ONU-ji poročajo OLT-ju (angl. Report) o stanju čakalnih vrst. Za sporočanje podatkov o stanju zasedenosti svojih čakalnih vrst se uporablja odtočna zveza. ONU sporoči število bitov v čakalni vrsti vmesnega pomnilnika po prenosnem zabojniku (angl. Transmission CONTainer – T-CONT) s sporočilom za dinamično dodelitev pasovne širine v odtoku (angl. Dynamic Bandwidth Report upstream – DBRu) v odtočnem postopku fizičnega sloja. OLT mora upoštevati sporočilo ONU-ja pri usmerjanju prometa z DBA. V ta namen OLT izdaja odobritev (angl. Grant – G) pasovne širine oziroma trajanja oddaje.

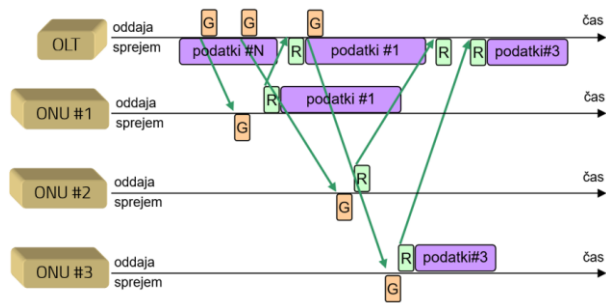
Celoten postopek prikazuje slika 5. Uporabnik dostavi podatke ONU, ki jih shrani v čakalno vrsto za odtočni promet. Ko od OLT-ja dobi odobritev za oddajo (angl. Grant – G), ONU sporoči zahtevek (angl. Request – R) za odobritev količine čakajočih podatkov, shranjenih v čakalni vrsti predpomnilnika. OLT določi začetek oddaje in dodeli (Grant – G) ONU-ju čas trajanja oddaje, skladno s stanjem prometa in prioriteta. ONU odda dodeljeno količino podatkov OLT-ju, skupaj s poročilom (Report – R) za nadaljnje zahteve po odtočnem prometu.



Slika 5. Običajni postopek za SR-DBA.

Ker potekata dotočni in odtočni promet na različnih valovnih dolžinah, je mogoče postopek SR-DBA tudi pohitriti, kot prikazuje slika 6. V običajnem postopku OLT pošlje ONU odobritev (Grant – G) in čaka do prejema njegovih podatkov. V pohitrenem primeru čas čakanja na odgovor izkoristi tako, da med prejemanjem podatkov predhodnega ONU, pošlje na podlagi izračuna DBA odobritev naslednjemu ONU. Ko le-ta pošlje

podatke ali pa tudi ne, OLT pošilja že nove odobritve. Na ta način najbolje izkoristi ves razpoložljivi čas.



Slika 6. Pohitren postopek za SR-DBA.

OLT optimizira DBA v odtoku na osnovi poročanja ONU/T-ja o gostoti prometa. Poznani so trije načini, s katerimi lahko ONU sporoči OLT-ju stanje o čakajočem prometu:

1. Z biti, ki navajajo status v glavi odtočnega okvirja, imenovani odtočni postopki fizičnega sloja (angl. Physical Level Operations upstream – PLOu): z navedbo statusa lahko OLT na hiter in enostaven način prepozna tip čakajočega odhodnega prometa brez poznavanja večjih podrobnosti.
2. S podpornim (angl. piggyback) poročilom DBA v DBRu: poročilo DBA je lahko v treh načinih (način 0, način 1 in način 2), ki ustreza DBA polju dolžine 1, 2 ali 4 bajtov (to je 2, 3 ali 5 bajtov DBRu). Prenos in obliko DBRu določa OLT z uporabo 8. in 7. bita zastavic v načrtu US BW. Podporni DBA in DBRu omogočata ONU-ju konstantno posodobitev prometa v določenem prenosnem kanalu. Poročilo DBA vsebuje število celic ATM ali blokov GEM (dolžine 48-bajtov), ki čakajo v odhodnem medpomnilniku (angl. upstream buffer).
3. Z odtočnimi koristnimi podatki (angl. upstream payload) DBA: ONU/T lahko pošlje celotno poročilo o stanju prometa na namenski ali pa na vse prenosne kanale v odhodnih koristnih podatkih. Podrobnosti DBA podatkov so opisane v priporočilu ITU-T G.984.3.

6 Ocena zakasnitev v GPON

Pri GPON je uporabnikov ONU lahko največ 20 km oddaljen od centrale. Signal potuje po optičnem vlaknu s približno hitrostjo $2 \cdot 10^8$ m/s kar pomeni, da za pot v eno smer potrebuje 0,1 ms. Ker mora signal potovati v obe smeri, potrebuje za pot tja in nazaj 0,2 ms.

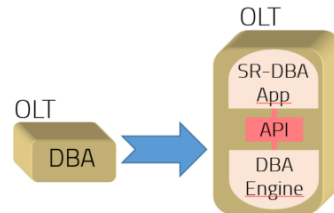
Pri GPON je dotok sestavljen iz okvirjev, ki trajajo 0,125 ms. DBA ima odzivnost dveh ciklov, torej je potreben čas, da se DBA vzpostavi in postane dejaven 0,250 ms. Vsi časovni prispevki torej znašajo 0,450 ms. To je čas v katerem uporabnikov ONU dobi povratne informacije s strani OLT-ja, če je edini dejaven uporabnik na OLT-ju. Seveda je v praksi na omrežju dejavnih več uporabnikov, lahko tudi 64 ali 128, s čimer se odzivnost poslabša. Zakasnitve so v praksi torej zelo spremenljive glede na število aktivnih uporabnikov, glede na promet, ki ga ustvarjajo uporabniki ter glede na

prioritete prometa. Upoštevati je potrebno tudi, da je ta izračun vzet za najbolj oddaljene uporabnike, torej bo za uporabnike, ki so bližje OLT-u, zakasnitev manjša.

Sicer pa sta glede na literaturo [18] pri reševanju prometnih zamaškov in izbruhov učinkovita oba načina, tako NSR kot SR. SR-DBA je boljši do 125 % zasedenosti omrežja (glede na omrežje brez DBA), saj ima zakasnitev samo 0,6 ms. Nad 125 % zasedenosti pa je boljši algoritem NSR-DBA, saj ima za vse pakete in ne glede na promet največjo zakasnitev le 1,6 ms.

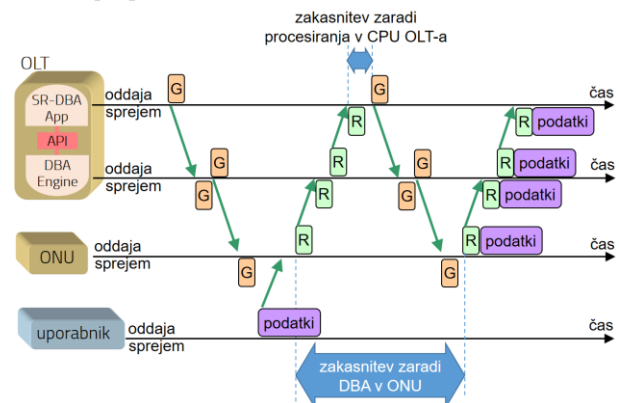
7 Uvedba kooperativnega DBA

Predstavljen način komuniciranja v GPON je primeren za storitve FTTH, vendar ne zadostuje za časovno kritične aplikacije, ki so ena od pomembnih skupin v 5G. Za premestitev tega problema je potrebno DBA razčleniti v dva dela, *DBA Engine* in *DBA App*, kot prikazuje slika 7 [19]. *DBA App* prevzame programski del o odločanju deljenja časa za zasedanje prometne zmogljivosti v dotoku glede na trenutni promet in zahteve ONU. *DBA Engine* pa komunicira z ONU. *DBA App* in *Engine* med seboj komunicirata s pomočjo vmesnika API. Ker je programski del *DBA App* ločen, ga je mogoče posodobiti in omogočiti manjše zakasnitve za časovno kritične funkcije omrežja.



Slika 7. Razdelitev funkcij SR-DBA.

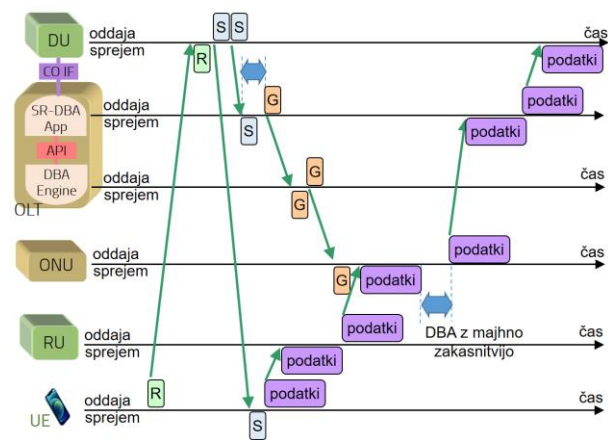
S tem se delovanje SR-DBA za storitve FTTH ne spremeni. Razlika je le v tem, da bi *DBA Engine* prejemal poročila od ONU o zasedenosti čakalne vrste in te posredoval *DBA App* preko API-ja, ki bi preračunal, kdaj lahko ONU pošlje svoje podatke in to poslal nazaj *DBA Engine*. Ta bi sporočilo, ki bi vsebovalo *BWmap* (razpored pošiljanja) vrnil vsem ONU, kot prikazuje slika 8, kar je običajno delovanje v GPON [19].



Slika 8. Običajni postopek z deljenim SR-DBA.

Slika 9 prikazuje predlagano delovanje kooperativnega DBA (angl. Cooperative DBA – CO-DBA) za časovno kritične aplikacije omrežij 5G. Z nadgradnjo na algoritem CO-DBA bo OLT prejemal informacije o časovni porazdelitvi prenosa (angl. schedule – S) podatkov uporabnikov (angl. User Equipment – UE) proti ONU, od distribuirane enote (angl. Distributed Unit – DU) preko centralnega vmesnika (CO IF). S pomočjo podatkov, kdaj naj bi paketi od uporabnikov prispeli v ONU, izračuna začetni čas pošiljanja posameznega ONU. Podatki od uporabnika (UE) se shranijo v predpomnilniku ONU, kjer čakajo na potrdilo OLT za oddajanje.

Ker bi ONU že prejel odobritev (Grant) za pošiljanje, ki ga je izračunal DU od UE s podatki, temu ne bi bilo treba pošiljati poročila (Report), kar bi mu omogočalo hitro pošiljanje podatkov proti DU.



Slika 9. Uvedba CO-DBA.

Na predlagani način se zakasnitve znatno zmanjšajo pod zahtevanih 0,250 ms in GPON je z uporabo CO-DBA primeren za mobilno dostopno omrežje (angl. Mobile Fronthaul – MFH). Vendar bi ta način nadgradnje podpiral le MFH in ne drugih storitev, kot je FTTH. Zato v strokovnem članku [20] predlagajo drugačen kooperativni DBA.

V [20] predlagajo samo-prilagodljiv DBA (angl. Self-Adjusting DBA), ki bi deloval kot klasičen SR-DBA. ONU ima v predpomnilniku za pošiljanje zbrane različne tipe podatkov, ki so med seboj ločeno shranjeni. Te podatke pošilja proti OLT-ju v prenosnih zabojnikih (T-CONT), ki se med seboj razlikujejo po prioritetah. Vsak tak zabojnik ima svoj naslov (Alloc-ID) in več zabojnikov je lahko poslanih v odtok v enem okvirju dolžine 125 μ s.

Na podlagi že pridobljenih informacij o zasedenosti predpomnilnikov ONU-jev bi OLT vsem ONU-jem poslal *BWmap* v glavi pritočnega prometa z naslovi (*Alloc-ID*) časovne porazdelitve T-CONT-ov. ONU bi v trenutku, ko mu OLT odobri pošiljanje paketov, shranjenih v pomnilniku, začel s štetjem novo prihajajočih bajtov posameznega uporabnika (*Alloc-ID*). Ko bi ONU ponovno dobil odobritev za pošiljanje od OLT za določen *Alloc-ID*, bi ta prenehal šteti prejete bajte in bi tem prištel bajte iz prejšnjega intervala

pošiljanja ter to vsoto sporočil OLT-ju v obliki poročila (DBRu) v glavi vsakega T-CONT.

Tako bi DBA imel veliko boljšo predstavbo o posameznem pritoku različnih podatkov na ONU. S spreminjanjem vsote bajtov, ki bi jih ONU pošiljal OLT-ju v poročilu, bi DBA prilagajal čas oddajanja posameznega ONU, ti bi oddajali pakete fiksnega in mobilnega omrežja, hkrati pa bi 5G-paketi imeli višjo prioriteto.

8 Zaključek

V prispevku je prikazana možnost vključevanja mobilnega omrežja 5G v GPON. Predstavljeni so telekomunikacijski protokoli GPON, ki z dinamično dodelitvijo prometnih zmogljivosti (DBA) zadovoljujejo zahteve v mobilnem omrežju 5G po visoki zmogljivosti in nizkih zakasnitvah. Kot najbolj učinkovit način za zadostitev prometnim potrebam je največkrat uporabljeno dinamično dodeljevanje prometnih zmogljivosti s sporočanjem o stanju (SR-DBA), ki pa je neustrezno za časovno kritične komunikacije. Iz tega razloga ta članek obravnava rešitev razdelitve SR-DBA in uvedbo kooperativnega DBA. Predlagana rešitev je prikladna, saj omogoča uporabo dosedanjega OLT, na katerem pa se za nadgradnjo na mobilno dostopno omrežje le spremenili programsko opremo v *DBA App*. Nadgradnja programske opreme zamenja SR-DBA z CO-DBA.

Glede na to, da prometne zahteve na strani uporabnikov naraščajo, se pripravljajo tudi nadgradnje tehnologije GPON v XG-PON [21, 22], kar bo lahko še pospešilo vključevanje 5G in bo predmet naših nadaljnjih raziskav.

Zahvala

Delo je podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru projekta J2-3048 in raziskovalnega programa P2-0246.

Literatura

- [1] "G.984.3: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission convergence layer specification". ITU-T. 2004–2012.
- [2] Boštjan Batagelj. Pasivno optično dostopno omrežje s časovnim razvrščanjem. 1. izd. Ljubljana: Založba FE in FRI, 2011. 124 str., ISBN 978-961-243-195-2.
- [3] Paul E. Green Jr. Fiber to the Home: The New Empowerment, Wiley-Interscience; 1st edition, October 14, 2005.
- [4] Boštjan Batagelj. Širokopasovni internet je tudi - 5G. Monitor. jun. 2021, letn. 31, št. 6, str. 32-34, <https://www.monitor.si/clanek/sirokopasovni-internet-je-tudi-5g/207663/>.
- [5] Attila Hilt, Throughput Estimation of K-zone Gbps Radio Links Operating in the E-band, Informacije MIDEM, letnik 52, številka1, strani 29-39, 2022, <https://doi.org/10.33180/InfMIDEM2022.104>.
- [6] B. Batagelj, L. Pavlovič, L. Naglič, S. Tomažič, "Convergence of fixed and mobile networks by radio over

- fibre technology." *Informacije MIDEM*, letnik 41, številka 2, str. 144-149, 2011, [http://www.midem-drustvo.si/Journal%20papers/MIDEM_41\(2011\)2p144.pdf](http://www.midem-drustvo.si/Journal%20papers/MIDEM_41(2011)2p144.pdf).
- [7] Henri Hodara, Edvin Skaljo. From 1G to 5G, Fiber and Integrated Optics, vol. 40, no. 2-3, pp. 85-183, 2021, <https://doi.org/10.1080/01468030.2021.1919358>.
- [8] A. Kos, V. Milutinović, A. Umek: Challenges in wireless communication for connected sensors and wearable devices used in sport biofeedback applications, *Future Generation Computer Systems*, let. 92, str. 582-592, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.032>.
- [9] 5GPPP, 5G-XHaul, D2.3. Architecture of Optical/Wireless Backhaul and Fronthaul and Evaluation. 2017. <https://www.5g-xhaul-project.eu/download/>
- [10] J. R. Stern, et. al. (British Telecom), *Passive Optical Local Networks for Telephony Applications and Beyond*, Electronics Letters, november 1987
- [11] Bostjan Batagelj (2013) Deployment of Fiber-to-the-Home in the Slovenian Telecommunications Market, *Fiber and Integrated Optics*, 32:1, 1-11, DOI: 10.1080/01468030.2012.760686
- [12] F. Selmanovic, E. Skaljo, "GPON in Telecommunication Network," *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, 2010, pp. 1012-1016, doi: 10.1109/ICUMT.2010.5676500.
- [13] www.cpri.info
- [14] R.Q. Shaddad, A.B. Mohammad, A.M. Al-hetar, "Analysis of physical layer performance of hybrid optical-wireless access network," *Optics Communications*, Vol. 284, Iss. 20, 2011, pp. 4894-4899, <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2011.06.023>.
- [15] R.Q. Shaddad, A.B. Mohammad, A.M. Al-hetar, "Performance Parameter of Hybrid Wireless-optical Broadband-access Network (WOBAN): A Study on the Physical Layer of Optical Backhaul and Wireless Front-end," *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, Marrakesh, Morocco, Mar. 20–23, 2011, pp. 953-957.
- [16] Edvin Skaljo, Boris Nemsic, Slobodan Babic, Aljo Mujčič. Integration of Mobile Backhaul and Broadband Fixed Access Networks in Urban Metropolitan Areas, *Fiber and Integrated Optics*, vol. 32, no.2, pp.105-116, 2013, <https://doi.org/10.1080/01468030.2012.760690>
- [17] Anže Žvanut, *Gigabitno pasivno optično omrežje in LTE*, diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje. Ljubljana, 2016. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=85545>.
- [18] Joanna Ozimkiewicz, Sarah Ruepp, Lars Dittmann, Henrik Wessing, Sylvia Smolorz, »Dynamic Bandwidth Allocation in GPON Networks«, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/Harvard/CISST/CISST34.pdf>
- [19] Kota Asaka, Hirotaka Ujikawa, Hiroyuki Uzawa, Hirotaka Nakamura, Jun-Ichi Kani, Akihiro Otaka, and Jun Terada, "Disaggregation of Time-Critical Applications in Flexible Access System Architecture [Invited]," *J. Opt. Commun. Netw.* 11, A33-A39 (2019)
- [20] H. Uzawa et al., "Practical Mobile-DBA Scheme Considering Data Arrival Period for 5G Mobile Fronthaul with TDM-PON," 2017 European Conference on Optical Communication (ECOC), 2017, pp. 1-3, doi: 10.1109/ECOC.2017.8345831.
- [21] Boštjan Batagelj, Vesna Eržen, Jurij Tratnik, Luka Naglič, Vitalii Bagan, Yury Ignatov, Maxim Antonenko. Optical access network migration from GPON to XGPON, Proc. of The Third International Conference on Access Networks ACCESS, pp. 62-67, 2012.
- [22] E. Skaljo, M. Hodzic and I. Bektas, "Migration from G(E)PON to NGPON," 2009 International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICUMT.2009.5345482.