

ŠIROKOPOJASNE TELEKOMUNIKACIONE MREŽE
– Poglavlje 3 –

3 OTN

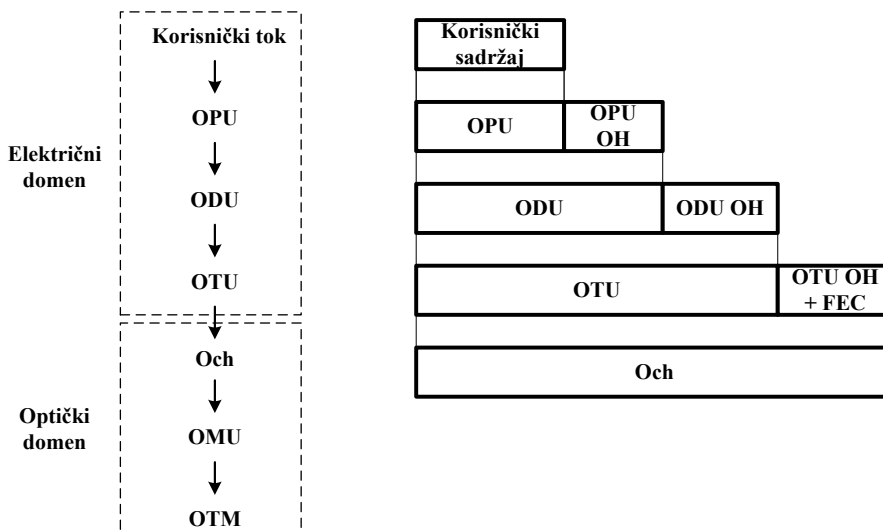
SDH mreže predstavljaju transportne mreže druge generacije koje su donele nekoliko unapređenja u odnosu na PDH mreže koje predstavljaju transportne mreže prve generacije. Unapređenja su došla kao rezultat tehnološkog razvoja - upotreba optičkih linkova kao fizičkih medijuma za prenos, ali i upotreba savršenije tehnologije koja je omogućila realizaciju ADM i DXC uređaja koji su omogućavali lakše ubacivanje i izvlačenje korisničkih tokova, kao i nadgledanje i upravljanje stanjem mreže i korisničkim tokovima.

Kao što je standardizacija SDH mreža posledica tehnološkog napretka, isto tako je došlo i do standardizacije OTN (*Optical Transport Network*) mreža. OTN mreže su pre svega uzele u obzir WDM (*Wavelength Division Multiplex*) tehniku kojom je omogućeno da se dobije ukupan porast kapaciteta linka, a da se preterano ne poveća protok na jednoj talasnoj dužini. Na primer, ako bi se želeo postići kapacitet linka 400Gb/s, bolja varijanta je upotreba WDM tehnike, tako da se na 40 različitih talasnih dužina prenosi po 10Gb/s, nego da se preko jedne talasne dužine prenosi 400Gb/s. SDH mreže nisu standardizovane da koriste WDM tehniku, ali pojedini proizvođači su nudili sopstvena rešenja koja su koristila WDM tehniku, ali je tada bilo potrebno koristiti opremu istog proizvođača. OTN mreže su originalno zamišljene da ne koriste TDM multipleksiranje korisničkih tokova, kao što je rađeno u SDH mrežama u multipleksiranjima virtuelnih kontejnera, čime bi OTN uređaji bili jednostavniji, ali je na kraju ipak uvedena i mogućnost TDM multipleksiranja. OTN mreže koriste određene ideje iz SDH mreža, poput virtuelne konkatanacije, LCAS i generičkih okvira (GFP).

U okviru ovog poglavlja će biti izloženi osnovni principi OTN mreža, način kako se prihvataju korisnički tokovi i kako se oni potom pakuju u odgovarajuće strukture OTN mreže.

3.1. Arhitektura OTN mreža

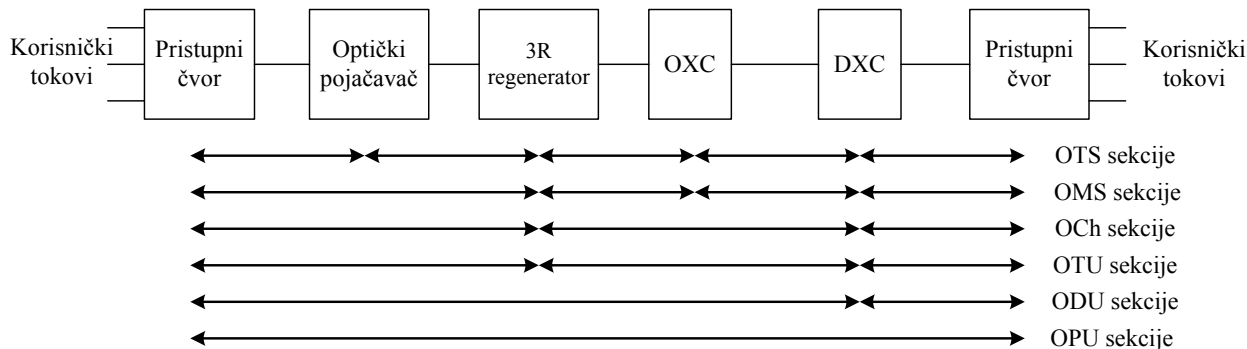
Kao i većina telekomunikacionih mreža, i OTN mreže imaju slojevitou arhitekturu koja je prikazana na slici 3.1.1.



Slika 3.1.1. Slojevita arhitektura OTN mreža

Korisnički tok se mapira u korisni deo OPU (*Optical Channel Payload Unit*) jedinice koja sadrži i svoje zaglavlje (*OPU OH - OPU Overhead*). OPU jedinica se mapira u korisni deo ODU (*Optical Channel Data Unit*) jedinice koja takođe sadrži svoje zaglavlje (*ODU OH - ODU Overhead*). ODU se potom mapira u korisni deo OTU (*Optical Channel Transport Unit*) jedinice. OTU jedinica takođe ima svoje zaglavlje (*OTU OH - OTU Overhead*), ali i FEC (*Forward Error Correction*) polje za korekciju grešaka unapred. Upravo FEC polje predstavlja jednu bitnu razliku u odnosu na SDH mreže, jer FEC metoda omogućava upotrebu dužih optičkih linkova u OTN mrežama i smanjuje broj regeneratora/pojačavača u mrežama čime mreža postaje ekonomičnija. U SDH mrežama je upotreba FEC metode opcionalna, pri čemu je FEC primenjen u SDH mrežama slabijih performansi u odnosu na onaj iz OTN mreža. Sve navedene jedinice i mapiranja se vrše u električnom domenu jer je još uvek procesiranje efikasnije u električnom domenu nego u optičkom domenu, a polja zaglavlja se moraju procesirati u inteligentnijim mrežnim elementima poput digitalnih 'add-drop' multipleksera (ADM), digitalnih komutatora (DXC) ili pristupnih tačaka na kojima se započinju ili terminiraju korisnički tokovi. Koja zaglavlja se procesiraju zavisi od tipa uređaja kao što se može videti i sa slike 3.1.2. Zaglavlja koja se dodaju praktično predstavljaju svojevrstni ekvivalent sekcija iz SDH mreža, pa je tako, na primer, OPU zaglavlje tj. OPU sekcija ekvivalent sekcije puta. Međutim, u OTN mrežama su jasno razdvojeni optički i električni domen pa nije lako napraviti preciznu analogiju sa sekcijama iz SDH mreža.

OTU jedinica se potom prevodi u optički domen gde postaje optički kanal OCh (*Optical Channel*). Optički kanal se prenosi preko jedne talasne dužine, a pošto se koristi WDM (tj. DWDM) tehnika omogućen je prenos više optičkih kanala istovremeno (jedan optički kanal po jednoj talasnoj dužini). U okviru OTN mreža postoje sekcije neophodne za praćenje stanja u mreži na nivou optičkog domena, ali se zaglavlje tih sekcija prenosi u odvojenom kanalu tj. talasnoj dužini pa se često za ta zaglavlja kažu da su nepridružena jer se odnose na sve preostale talasne dužine tj. optičke kanale. Ovaj odvojeni kanal se naziva optički kanal za nadgledanje OSC (*Optical Supervisory Channel*). Preko ovog izdvojenog kanala se prenose i zaglavlja OCh jedinica koje se prenose preko preostalih talasnih dužina. U OTN mrežama razlikujemo optičku prenosnu sekciju OTS (*Optical Transmission Section*) koja je bliža fizičkom sloju, i optičku multipleksnu sekciju OMS (*Optical Multiplex Section*). Otuda imamo OMU jedinicu (*Optical Multiplex Unit*) na nivou optičke multipleksne sekcije i konačno OTM (*Optical Transport Module*) modul kao konačnu strukturu koja se prenosi preko fizičkog sloja tj. optičkog vlakna.



Slika 3.1.2. Opsezi sekcija u OTN mrežama

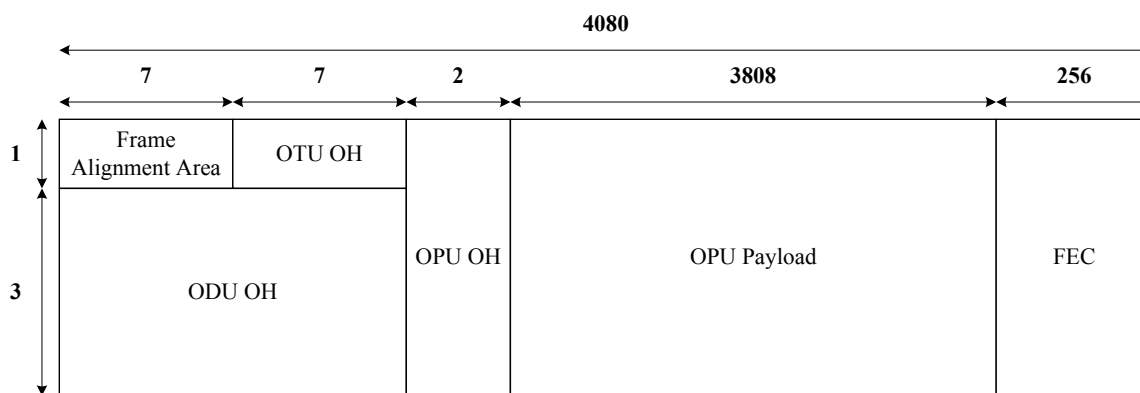
Na slici 3.1.2 je ilustrovan opseg različitih sekcija na jednoj deonici OTN mreže. Kao što smo već ranije naveli, nije lako napraviti preciznu analogiju sa sekcijama iz SDH mreža, pošto je

u OTN mrežama jasnije razdvojen električni i optički domen. OTS sekcije odgovaraju fizičkom sloju i definišu se između dva susedna uređaja. OMS sekcije se definišu između dva inteligentna uređaja u koja se ubrajaju i uređaji koji vrše tzv. 3R regeneraciju signala jer se ona mora vršiti na nivou optičkih kanala pa se tu vrši svojevrsno demultipleksiranje sa talasnih dužina iz WDM (DWDM) signala na pojedinačne optičke kanale koji se potom osvežavaju. Pošto se vrši osvežavanje signala, 3R regeneratori predstavljaju terminaciju i za OCh i OTU jedinice. Optički pojačavač samo vrši pojačavanje optičkih signala pa je on transparentan za OMS sekciju (i ostale više sekcije). OXC je optički komutator koji vrši komutaciju u optičkom domenu pa i on predstavlja terminaciju za optičke sekcije OTS i OMS. Pored optičkog komutatora postoje i optički 'add-drop' multiplekseri (OADM) koji predstavljaju granice za identične sekcije kao i OXC uređaji. Uređaji koji vrše komutaciju u električnom domenu (DXC) i/ili 'add-drop' funkciju u električnom domenu (ADM) predstavljaju granice za ODU sekciju jer se u tim uređajima vrše manipulisanja sa ODU jedinicama. Pristupni čvorovi koji predstavljaju početak ili kraj korisničkog toka kroz OTN mrežu predstavljaju granicu za OPU sekciju (i sve ostale niže sekcije).

Bitno je napomenuti da standardi predviđaju dva tipa povezivanja u OTN mrežama - interdomensko i intradomensko povezivanje. Intradomensko povezivanje je povezivanje uređaja istog proizvođača u okviru OTN mreže istog provajdera, a interdomensko povezivanje je povezivanje između uređaja koji se nalaze u mrežama različitih provajdera, ili između uređaja različitih proizvođača, a u okviru mreže istog provajdera. U slučaju interdomenskog povezivanja uređaji koji se međusobno povezuju moraju vršiti tzv. 3R regeneraciju signala koja porazumeva pojačavanje, uobličavanje i resinhronizaciju signala (*Reamplification, Reshaping, Retiming*).

3.2. Struktura optičkog kanala OCh

Na slici 3.2.1 je prikazana OCh struktura koja predstavlja strukturu jednog optičkog kanala, odnosno OTU jedinice koja će se slati preko jedne talasne dužine na optičkom linku.

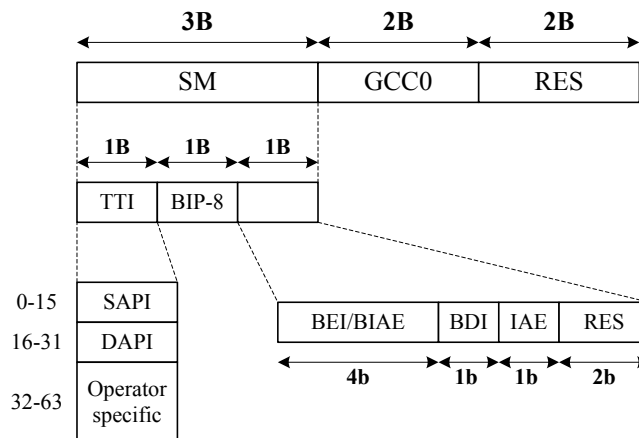


Slika 3.2.1. OCh struktura

Kao što se vidi sa slike 3.2.1, OCh struktura se prikazuje u vidu pravougaonika sa 4 reda i 4080 kolona (u preseku svake kolone i reda se nalazi jedan bajt). OPU zaglavlje (OPU OH) zauzima kolone 15 i 16, ODU zaglavlje (ODU OH) zauzima poslednja tri reda kolona 1-14, a OTU zaglavlje (OTU OH) zauzima prvi red kolona 8-14. Korisnička informacija, odnosno tok se smešta u OPU korisni deo (*OPU Payload*) koji zauzima kolone 17-3824. FEC polje za korekciju grešaka unapred se smešta u poslednjih 256 kolona. Za određivanje početka OCh strukture se koristi FAA (*Frame Alignment Area*) polje.

FAA polje se sastoji iz FAS (*Frame Alignment Signal*) i MFAS (*MultiFrame Alignment Signal*) dela. FAS zauzima prvih šest bajtova FAA polja. Prva tri bajta FAS signala imaju vrednost 11110110, a preostala tri bajta imaju vrednost 00101000. FAS signal se koristi za određivanje početka OCh strukture. MFAS zauzima poslednji (sedmi) bajt FAA polja i koristi se za definisanje početka nadram strukture, pošto se pojedina polja iz zaglavlja (OPU, ODU, i/ili OTU zaglavlja) protežu na više OCh struktura, pa je neophodno za tumačenje tih polja koristiti nadram strukturu slično kao u SDH mrežama. MFAS vrednost se inkrementira za jedan i kreće su u opsegu 0-255, pa nadram sadrži 256 ramova tj. OCh struktura. U zavisnosti od dužine polja zaglavlja koje koristi nadram strukturu (jer se proteže na više OCh struktura) može se koristiti ceo MFAS ili samo deo (na primer, ne mora se brojati po modulu 256, već upotrebom manjeg broja bita može se brojati i po manjim opsezima - ako se koriste samo poslednja 4 bita onda se broji po modulu 16 što je dovoljno za polja koja se protežu na 16 OCh struktura). Na ovaj način je dobijena fleksibilna struktura, pa se za svako polje zaglavlja koje zahteva nadram strukturu može ponaosob odrediti koliko bita MFAS bajta će koristiti za definisanje nadram strukture koju će koristiti dotično polje zaglavlja. Skremblovanje se vrši na kompletnoj OCh strukturi, sem na FAS signalu jer je on neophodan za utvrđivanje početka OCh strukture. Skremblovanje se vrši iz istog razloga kao kod SDH mreža, a to je da se dobije dovoljan broj tranzicija koje su neophodne za rekonstrukciju takta na prijemnoj strani.

Za FEC korekciju grešaka se koristi Rid-Solomonov (255,239) kod pri čemu se koristi i 16-bajtni interliving. Detaljniji opis ovog koda se može naći u ITU-T G.709 preporuci.



Slika 3.2.2. OTU zaglavlje

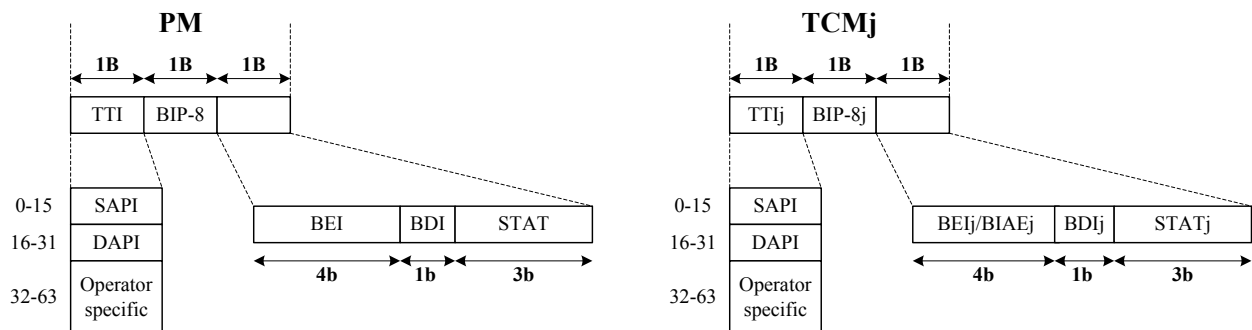
Struktura OTU zaglavlja je prikazana na slici 3.2.2. OTU OH se sastoji iz 3 dela, prva tri bajta predstavljaju SM (*Section Monitoring*) deo, sledeća dva bajta predstavljaju GCC0 (*General Communication Channel*) komunikacioni kanal, a poslednja dva bajta su rezervisana (*RES - Reserved*) za buduću upotrebu.

SM deo se koristi za nadgledanje na nivou OTU sekcije. TTI (*Trail Trace Identifier*) polje se tumači kao niz od 64 bajta. Očigledno ovo polje se proteže na više OTU jedinica i za njega se koristi MFAS signal (šest bita). Prvih 16 bajtova se tumači kao SAPI (*Source Access Point Identifier*), a sledećih 16 bajtova kao DAPI (*Destination Access Point Identifier*). SAPI i DAPI predstavljaju identifikacije izvorišne i odredišne pristupne tačke i omogućavaju praćenje povezanosti između uređaja na krajevima OTU sekcije (slično J0 bajtu iz SDH mreža). Preostala 32 bajta su ostavljena na raspolaganju operaterima koji ih mogu koristiti za implementaciju

dodatnih funkcionalnosti. BIP-8 predstavlja proveru ispravnosti po principu provere parnosti na nivou 8 pozicija bita u okviru bajtova iz OPU jedinice (OPU korisni deo i OPU zaglavlje). Pri tome, BIP-8 polje ne predstavlja proveru za prethodnu OPU jedinicu ($i-1$ jedinicu), nego onu pre nje ($i-2$ jedinicu). Poslednji bajt SM dela sadrži više indikatora. BDI (*Backward Defect Indicator*) indikator se koristi za indicaciju kvara na prijemnom delu OTU sekcije (uređaj koji detektuje kvar u svom prijemnom delu OTU sekcije aktivira ovaj bit u *upstream* smeru). BEI/BIAE (*Backward Error Indication/ Backward Incoming Alignment Error*) predstavlja broj detektovanih OPU jedinica sa greškama (greške detektovane BIP-8 proverom) ili grešku u poravnanju tj. gubitak sinhronizacije na FAS signal. Vrednosti iz opsega 0000-1000 predstavljaju broj detektovanih grešaka, a vrednost 1011 ukazuje na grešku u poravnanju. Preostale vrednosti ako se jave se tumače kao da nije bilo detektovanih grešaka tj. tumače se kao da je primljena vrednost 0000. IAE (*Incoming Alignment Error*) bit omogućava predajnoj strani OTU sekcije da pošalje indicaciju da je ona trenutno izgubila poravnanje u svom *upstream* smeru (na primer, ako bi postojao lanac A->B->C, B bi mogao preko IAE bita da obavesti C da je izgubio poravnanje sa A) pa da prijemna strana onda zna da sve greške koje detektuje su posledica ne grešaka na linku već greške poravnanja u *upstream* smeru. Poslednja dva bita su rezervisana za buduću upotrebu.

GCC0 kanal se koristi za komunikaciju između uređaja na krajevima OTU sekcije, ali se može koristiti i u procesu automatskog otkrivanja suseda (*discovery*) ako je uređaj konfigurisan da tako radi.

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|---------|------|---------|---|------|-----|---|------|----|-----|------|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| RES | PM, TCM | TCM ACT | TCM6 | | | TCM5 | | | TCM4 | | | FTFL | |
| TCM3 | | | TCM2 | | | TCM1 | | | PM | | EXP | | |
| GCC1 | | GCC2 | | APS/PCC | | | RES | | | | | | |



Slika 3.2.3. ODU zaglavlje

Struktura ODU zaglavlja je prikazana na slici 3.2.3. RES (*Reserved*) polja su rezervisana za eventualnu buduću upotrebu. EXP (*Experimental*) polje je namenjeno za eksperimentalne svrhe. GCC1 i GCC2 polja se mogu koristiti kao generalni komunikacioni kanali između uređaja na krajevima ODU sekcije.

PM (*Path Monitoring*) polje ima sličnu ulogu (pa čak i sličnu strukturu) kao SM polje iz OTU zaglavlja, ali na nivou ODU sekcije. U okviru PM se nalazi TTI polje koje se koristi na identičan način kao u SM polju i pre svega se koristi za praćenje povezanosti uređaja na

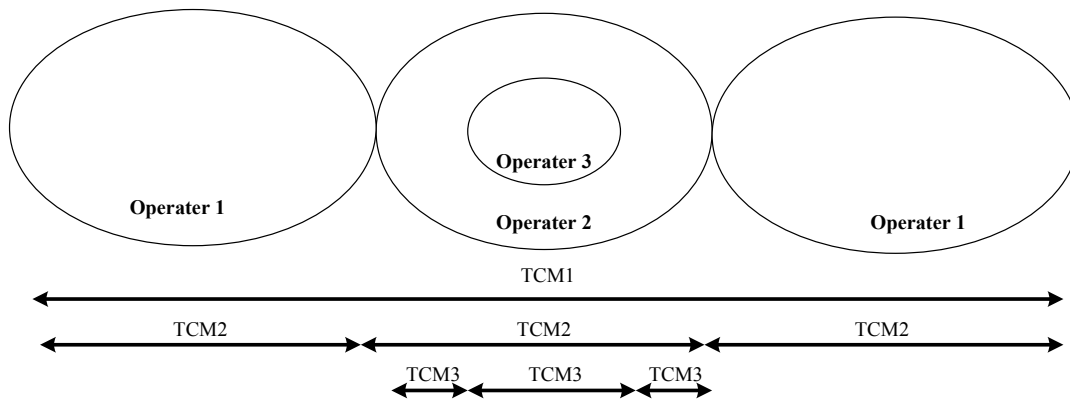
krajevima ODU sekcije. BIP-8 polje ima istu ulogu kao u SM polju OTU zaglavlja i na identičan način se formira. BIP-8 polje omogućava praćenje grešaka na nivou ODU sekcije. BDI indikator se koristi za indicaciju kvara na prijemnom delu ODU sekcije (uređaj koji detektuje kvar u svom prijemnom delu ODU sekcije aktivira ovaj bit u *upstream* smeru). BEI predstavlja broj detektovanih OPU jedinica sa greškama (greške detektovane BIP-8 proverom) na nivou ODU sekcije. Vrednosti iz opsega 0000-1000 predstavljaju broj detektovanih grešaka, a preostale vrednosti ako se jave se tumače kao da nije bilo detektovanih grešaka tj. tumače se kao da je primljena vrednost 0000. Za razliku od OTU zaglavlja u BEI polju nema indicacije gubitka poravnanja (nema BIAE) jer se ono vrši na nivou OTU sekcije. STAT (*Status*) biti označavaju prisustvo signala za nadgledanje kao što je prikazano u tabeli 3.2.1. ODUk-AIS (*Alarm Indication Signal*) se šalje tako što se u OPU korisnom delu, OPU zaglavlju i ODU zaglavlju šalju bajtovi vrednosti 11111111 sem u polju FTFL. FAA polje, OTU zaglavlje i FEC se i dalje koriste regularno kako je i opisano u okviru ovog potpoglavlja. AIS predstavlja indicaciju o grešci koja se desila uzvodno (*upstream*). ODUk-OCI (*Open Connection Indication*) se šalje tako što se u OPU korisnom delu, OPU zaglavlju i ODU zaglavlju šalju bajtovi vrednosti 01100110. FAA polje, OTU zaglavlje i FEC se i dalje koriste regularno kako je i opisano u okviru ovog potpoglavlja. OCI predstavlja indicaciju da nijedan izvor nije priključen na dotičnu sekciju pa prijemna strana tako zna da odsustvo korisničkog signala potiče od toga da ništa nije ni poslato. ODUk-LCK (*Locked*) se šalje tako što se u OPU korisnom delu, OPU zaglavlju i ODU zaglavlju šalju bajtovi vrednosti 01010101. FAA polje, OTU zaglavlje i FEC se i dalje koriste regularno kako je i opisano u okviru ovog potpoglavlja. LCK označava da je predajna strana zaključana i da stoga ne šalje nikakav korisnički signal.

Tabela 3.2.1 - Vrednosti STAT polja

| STAT | Tumačenje |
|--------|---|
| 001 | Normalan signal - nema signala za nadgledanje |
| 101 | ODUk-LCK signal |
| 110 | ODUk-OCI signal |
| 111 | ODUk-AIS signal |
| ostalo | Rezervisano za buduću upotrebu |

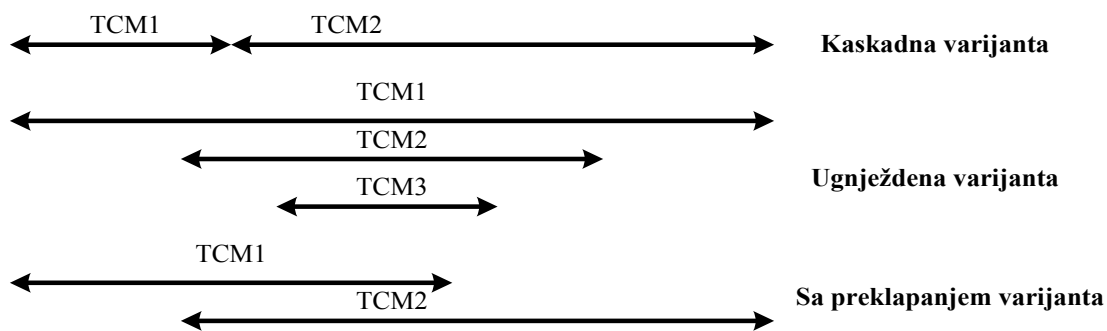
U okviru 'PM, TCM' polja se nalazi DMp (*PM Delay Measurement*) bit na poziciji 7 koji se koristi zajedno sa PM poljem. Biti na pozicijama 1-6 (DMt1 - DMt6) se koriste zajedno sa TCM1-TCM6 poljima, respektivno. Bit 8 se ne koristi. DMp bit se koristi za pokretanje merenja kašnjenja na ODU sekciji. Invertovanjem bita se pokreće merenje kašnjenja. Nova vrednost bita se zadržava do pokretanja novog merenja, kada će opet doći do invertovanja vrednosti DMp bita. Suprotni kraj od onoga koji je pokrenuo merenje će jednostavno da prepíše primljene vrednosti DMp bita u DMp bit koji šalje na suprotnu stranu. Važno je napomenuti da se ovime meri tzv. *round-trip* kašnjenje, a ne kašnjenje jednog smera.

TCM1-TCM6 (*TCM - Tandem Connection Monitoring*) polja omogućavaju nadgledanje na različitim deonicama u mreži čime je omogućeno fleksibilno nadgledanje delova mreže čak i u slučajevima kada se delovi mreže nalaze pod vlasništvom različitih operatera. Očigledno, moguće je definisati maksimalno šest nivoa hijerarhije takvog nadgledanja. Jedan primer upotrebe TCM nivoa je prikazan na slici 3.2.4.



Slika 3.2.4. Primer upotrebe TCM nivoa

TCM1 nivo se može upotrebiti za nadgledanje veze s kraja na kraj kroz sve mreže. TCM2 nivo se može upotrebiti na nivou tri veće mreže. TCM3 nivo se može upotrebiti za nadgledanje na nivou mreže operatera 3 kao i delova mreže operatera 2 koji se nalaze između operatera 1 i operatera 3. Na ovaj način se može efikasno nadgledati i složena mreža i utvrđivati gde je došlo do kvarova i time efikasnije koristiti mehanizme automatske zaštite. Na primer, ako dođe do kvara u mreži operatera 3 to će detektovati na nivou TCM1 nadgledanja, na nivou TCM2 nadgledanja u mreži operatera 2 i na nivou TCM3 nadgledanja u mreži operatera 3. Tada se može prvo prepustiti mreži operatera 3 da izvrši automatski oporavak, a ako on ne uspe onda se može uraditi automatski oporavak na nivou mreže operatera 2 (TCM 2 nadgledanje). Na taj način se omogućava višestruki stepen zaštite u slučaju složenijih mreža, a takođe je omogućena efikasnija saradnja između operatera. Takođe, TCM polje omogućava i praćenje kvaliteta usluge na nivou TCM veze, što je takođe bitno naročito ako se na putu prolazi kroz mreže više operatera. Pod kvalitetom usluge se pre svega misli na praćenje grešaka u prenetim OPU jedinicama koje enkapsuliraju korisničke podatke. Mogućnost definisanja više nivoa TCM veza je jedna od značajnih prednosti OTN mreža u odnosu na SDH mreže. Napomenimo da koji TCM nivo će se koristiti u nekoj konkretnoj situaciji zavisi samo od administratora mreže tj. samih operatera i dogovora među njima (redni broj TCM nivoa ne mora da ima korelaciju sa opsegom samog nadgledanja).



Slika 3.2.5. Varijante TCM nadgledanja

OTN podržava sledeće varijante TCM nadgledanja: kaskadne, ugnježdene i sa preklapanjem (slika 3.2.5). Kaskadne varijante podrazumevaju da se TCM oblasti nadgledanja kaskadno nadovezuju jedna za drugom. Očigledno, pošto nema preklapanja, u svakoj oblasti se može koristiti proizvoljan TCM nivo. Ugnježdena varijanta podrazumeva da su pojedine TCM oblasti ugnježdene u veće TCM oblasti pa se stoga moraju koristiti različiti TCM nivoi jer

postoji preklapanje TCM oblasti. Varijanta se preklapanjem podrazumeva da se TCM oblasti delimično preklapaju. Pošto ima preklapanja u ovoj varijanti se takođe moraju koristiti različiti TCM nivoi. Primer sa slike 3.2.4 koristi uporedo i kaskadnu i ugnježdenu varijantu. TCM oblasti koje koriste TCM2 nivo predstavljaju kaskadnu varijantu. Isto važi za TCM oblasti koje koriste TCM3. Oblasti koje koriste TCM2 nivou su ugnježdene u TCM oblast koja koristi TCM1. TCM oblasti koje koriste TCM3 nivou su ugnježdene takođe u TCM oblast koja koristi TCM1, ali i u srednju TCM oblast koja koristi TCM2 nivo.

Kao što se vidi sa slike 3.2.3 struktura TCM_j ($j=1..6$) polja je veoma slična PM polju. TT_{Ij} i BIP-8_j polja imaju istu ulogu kao u PM polju samo na nivou krajeva TCM_j veze. Isto važi i za BD_{Ij} bit, odnosno BE_{Ij} i STAT_j polja. Pri tome, BE_{Ij} polje se može tumačiti i kao BIAE_j polje ako je vrednost dotičnog polja 1011 (isto kao kod SM polja iz OTU zaglavlja). Razlog za obaveštavanje gubitka poravnanja na nivou TCM veze je bolja detekcija tipova kvarova i njihovih lociranja naročito u slučaju kada je uključeno više operatera u putanju. Vrednosti STAT_j polja se nešto razlikuju u odnosu na PM polje kao što se i vidi iz tabele 3.2.2.

Tabela 3.2.2 - Vrednosti STAT polja u TCM_j slučaju

| STAT | Tumačenje |
|--------|--|
| 000 | Ne koristi se TCM _j nivo |
| 001 | TCM _j nivo se koristi, nema greške u poravnanju |
| 010 | TCM _j nivo se koristi, ima greške u poravnanju |
| 101 | ODU _k -LCK signal |
| 110 | ODU _k -OCI signal |
| 111 | ODU _k -AIS signal |
| ostalo | Rezervisano za buduću upotrebu |

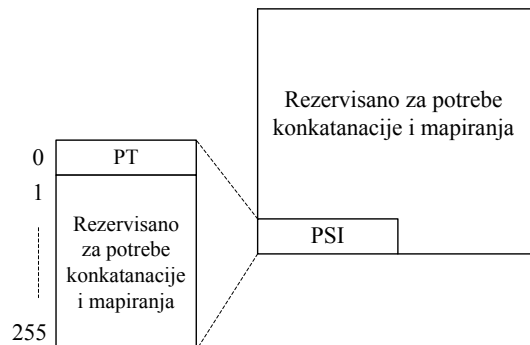
DM_{tj} bit se koristi za merenje *round trip* kašnjenja na nivou TCM_j veze na identičan način kao što se DM_p bit koristi za merenje *round trip* kašnjenja na nivou ODU sekcije.

TCM ACT bajt bi trebao da se koristi za aktivaciju i deaktivaciju TCM nadgledanja, ali njegova upotreba još nije standardizovana.

APS/PCC (*Automatic Protection Switching/ Protection Communication Channel*) polje se koristi za automatsku aktivaciju zaštite u slučaju detektovanih kvarova. Ovo polje se proteže na više ODU jedinica, pa se koristi MFAS signal (tri bita MFAS signala se koriste jer se polje proteže na 8 ODU jedinica). Zaštita se može aktivirati na nivou ODU sekcije ili na nivou TCM_j sekcije ($j=1..6$). Važno je naglasiti da se i u OTN mrežama koriste linearna zaštita i zaštita na nivou prstena kao u SDH mrežama, tj. isti standardi važe kao i za SDH mreže (G.873.1 i G.873.2).

FTFL (*Fault Type Fault Location*) se koristi kao komunikacioni kanal kojim se vrši obaveštavanje o tipu greške i njenoj lokaciji. FTFL poruka se sastoji od 256 bajtova tj. proteže se na više ODU jedinica, pa se i za njeno poravnanje koristi MFAS signal. Prvih 128 bajtova FTFL poruke se odnose na smer unapred (*forward*), a drugih 128 bajtova na smer unazad (*backward*). Svaki od smerova se sastoji iz tri dela - bajt indikacije greške (*Fault Indication Field*), polje identifikacije operatera (*Operator Identifier Field*) i polja za operatorsku upotrebu (*Operator Specific Field*). Bajt indikacije greške ima tri validne vrednosti 00000000 (nema greške), 00000001 (gubitak signala) i 00000010 (degradacija signala). Preostale vrednosti su rezervisane za buduću upotrebu. Polje identifikacije operatera je dužine devet bajtova i predstavlja identifikaciju operatera koja se sastoji iz međunarodnog koda zemlje i koda na nacionalnom

nivou. Polje za operatorsku upotrebu (dužine 118 bajtova) je ostavljeno operaterima na raspolaganju i upotreba ovog polja nije standardizovana. Operateri mogu iskoristiti ove bajtove za implementaciju sopstvenih funkcija u slučaju potrebe (naravno, u dogovoru sa proizvođačima OTN opreme koji bi morali da implementiraju podršku za te funkcionalnosti u svojim uređajima).



Slika 3.2.6. OPU zaglavlje

Struktura OPU zaglavlja je prikazana na slici 3.2.6. PSI (*Payload Structure Identifier*) se koristi za označavanje tipa korisničkog signala koji se mapira u OPU jedinicu, a takođe nosi i dodatne informacije vezane za mapiranje i konkatanaciju u zavisnosti od tipa mapiranog korisničkog signala. PSI poruka se sastoji od 256 bajtova koji se prenose u 256 uzastopnih OPU zaglavljaja pa je očigledno da se koristi MFAS signal za mapiranje. Prvi bajt PSI poruke predstavlja PT (*Payload Type*) koji označava tip korisničkog signala. Neke od standardizovanih vrednosti su prikazane u tabeli 3.2.3, a kompletan spisak standardizovanih vrednosti se može naći u preporuci G.709.

Tabela 3.2.3 - Tipovi korisničkog signala

| PT | Tip korisničkog signala |
|----------|---|
| 00000010 | Asinhrono CBR mapiranje |
| 00000011 | Bit sinhrono CBR mapiranje |
| 00000100 | ATM mapiranje |
| 00000101 | GFP mapiranje |
| 00000110 | Signal koji predstavlja virtuelnu konkatanaciju |
| 00001010 | STM-1 mapiranje u OPU0 |
| 00001011 | STM-4 mapiranje u OPU0 |

Preostali bajtovi u OPU zaglavlju su takođe rezervisani za mapiranje i konkatanaciju u zavisnosti od tipa mapiranog korisničkog signala.

Kao što smo već naveli, zaglavlja optičkog domena se prenose preko posebnog kanala OSC tj. zasebne talasne dužine.

OTS zaglavlje sadrži OTS-TTI, OTS-BDI-P, OTS-BDI-O i OTS-PMI. OTS-TTI polje ima istu funkciju i strukturu kao prethodno opisana TTI polja i koristi se na nivou OTS sekcije. OTS-BDI (*Backward Defect Indication*) indikacija se koristi za signaliziranje kvara unazad pri čemu BDI-P označava kvar na korisnom delu (talasne dužine koje prenose korisničku informaciju), a BDI-O kvar na OSC kanalu (talasnoj dužini koja prenosi OSC kanal). OTS-PMI (*Payload Missing Indication*) indikacija se šalje unapred da bi se prijemnoj strani signaliziralo da korisni deo nije poslat (kada se ne bi poslala ova indikacija, prijemna strana bi mogla pogrešno zaključiti da je došlo do gubitka signala).

OMS zaglavljje sadrži OMS-FDI-P, OMS-FDI-O, OMS-BDI-P, OMS-BDI-O i OMS-PMI. BDI indikacije imaju isto tumačenje kao i kod OTS zaglavljja, samo na nivou OMS sekcije. FDI (*Forward Defect Indication*) se koristi za indikaciju statusa korisnog dela (OMS-FDI-P), od nosno OMS zaglavljja u OSC k analu (OMS-FDI-O) u smeru unapred. Status može biti normalan (*normal*) ili u kvaru (*failed*) i ovu indikaciju šalje predajna strana prijemnoj strani na nivou OMS sekcije. PMI ima istu ulogu kao i u OTS zaglavljju, ali na nivou OMS sekcije.

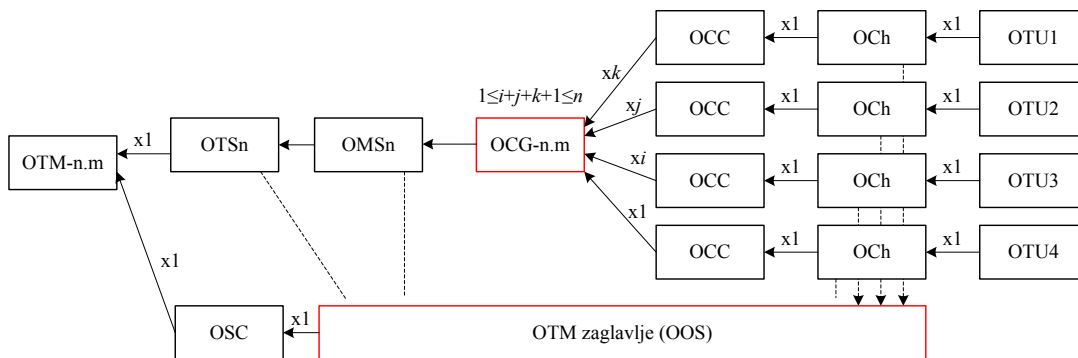
OCh zaglavljje sadrži OCh-FDI-P, OCh-FDI-O, OCh-OCI. FDI imaju istu ulogu kao u OMS zaglavljju, samo na nivou OCh sekcije. OCI (*Open Connection Indication*) signalizira otvorenu vezu koja je posledica komande upravljanja (menadžmenta), pa prijemna strana u OCh sekciji zna da se gubitak signala javlja usled otvorenosti veze.

3.3. OTN hijerarhija multipleksiranja

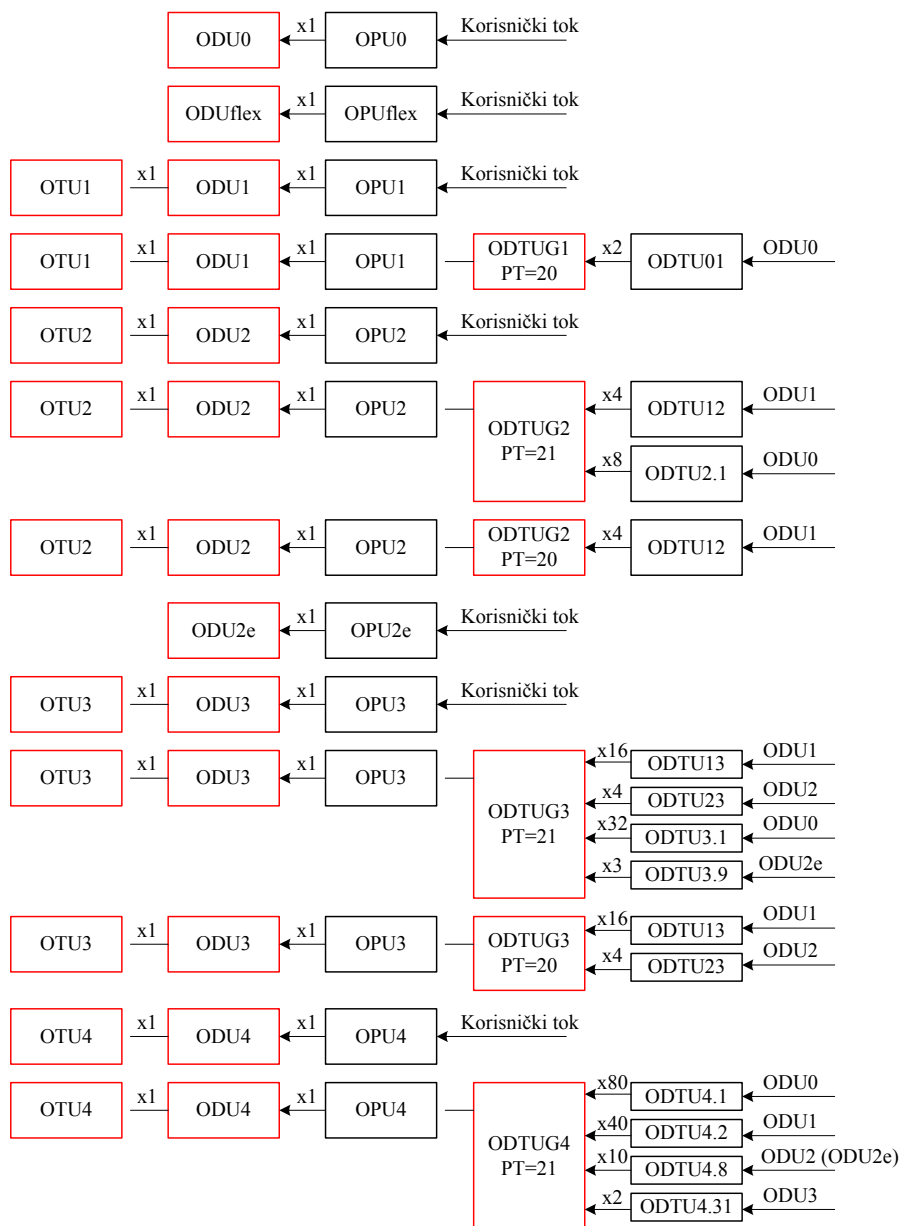
Na slici 3.3.1 je prikazana hijerarhija multipleksiranja OTU jedinica na OTM modul sa punom funkcionalnošću (OTM-n.m) - crvenom bojom je označeno multipleksiranje, a crnom mapiranje. Postoji više varijanata OTM modula, što je posledica uvođenja fleksibilnosti u OTN mreže. Naime, u nekim slučajevima nije potrebna puna funkcionalnost koju nudi OTN mreža, već je dovoljan samo deo funkcionalosti (redukovani skup funkcionalnosti). Puna funkcionalnost je opisana u prethodnom potpoglavlju, a pregled struktura redukovane funkcionalnosti i hijerarhija multipleksiranja u te strukture se može naći u G.709 preporuci. Takođe, OTU jedinice imaju četiri nivoa OTU1 - OTU4, koji se razlikuju po protocima (važno je napomenuti da OCh struktura opisana u 3.2 ima uvek istu strukturu, a perioda strukture se menja u zavisnosti od nivoa OTU). Protoci i periode OTUk signala su date u tabeli 3.3.1. Kao što se vidi, trenutno su standardizovane vrednosti protoka do 100Gb/s. ODU2e, odnosno OPU2e jedinice su uvedene da bi se podržao 10G LAN ethernet, jer ako se pogleda vrednost protoka OPU2 vidi se da je ona ispod 10Gb/s što je problem jer je protok 10G LAN eterneta veći (10.3125Gb/s), pa je otuda uvedena i OPU2e, odnosno ODU2e jedinica da bi se podržao i 10G ethernet koji predstavlja značajan tip korisničkih tokova. Na slici 3.3.2 je prikazana hijerarhija multipleksiranja korisničkih tokova u OTUk jedinice ($k=1..4$). Važno je napomenuti da se multipleksiranja rade na nivou bajtova, kao u SDH mrežama.

Tabela 3.3.1 - Protoci i periode struktura u OTN mreži

| Jedinica | Protok | Perioda |
|----------|--------------------|----------------|
| OTU1 | 2.666057143 Gb/s | 48.971 μ s |
| OTU2 | 10.709225316 Gb/s | 12.191 μ s |
| OTU3 | 43.018413559 Gb/s | 3.035 μ s |
| OTU4 | 111.809973568 Gb/s | 1.168 μ s |
| ODU0 | 1.24416 Gb/s | 98.354 μ s |
| ODU1 | 2.498775126 Gb/s | 48.971 μ s |
| ODU2 | 10.037273924 Gb/s | 12.191 μ s |
| ODU3 | 40.319218983 Gb/s | 3.035 μ s |
| ODU4 | 104.794445815 Gb/s | 1.168 μ s |
| ODU2e | 10.399525316 Gb/s | 11.767 μ s |
| OPU0 | 1.238954310 Gb/s | 98.354 μ s |
| OPU1 | 2.48832 Gb/s | 48.971 μ s |
| OPU2 | 9.995276962 Gb/s | 12.191 μ s |
| OPU3 | 40.150519322 Gb/s | 3.035 μ s |
| OPU4 | 104.355975330 Gb/s | 1.168 μ s |
| OPU2e | 10.356012658 Gb/s | 11.767 μ s |



Slika 3.3.1. Hijerarhija multipleksiranja - prvi deo



Slika 3.3.2. Hijerarhija multipleksiranja - drugi deo

3.4. Mapiranje korisničkih tokova i virtuelna konkatanacija

Korisnički tokovi se mapiraju u OPU jedinice odgovarajućeg protoka. Standardizovano je mapiranje za veliki broj slučajeva, pri čemu se za paketske tokove može koristiti GFP procedura opisana u prethodnom poglavlju. Takođe, usled pozitivnog iskustva u SDH mrežama sa tehnikom virtuelne konkatanacije i LCAS tehnike koja je omogućavala dinamičko menjanje protoka korisničkog toka, ove dve tehnike su uključene i u OTN mreže.

Korisnički tokovi konstantnog protoka, poput STM-N struktura, se mogu mapirati u odgovarajuće OPU jedinice. Tako se 2.5G tok (na primer, STM-16) mapira u OPU1, 10G tok (na primer, STM-64) mapira u OPU2, a 40G tok (na primer, STM-256) mapira u OPU3. Mapiranja za ova tri slučaja su prikazana na slikama 3.4.1-3.4.3.

| OPU OH | | OPU Payload | |
|--------|-----|-------------|--------|
| 15 | 16 | 17 | 3824 |
| RES | JC | 3808xD | |
| RES | JC | 3808xD | |
| RES | JC | 3808xD | |
| PSI | NJO | PJO | 3807xD |

Slika 3.4.1. Mapiranje 2.5G toka konstantnog protoka u OPU1

| OPU OH | | OPU Payload | | | |
|--------|-----|-------------|--------|-------|--------|
| 15 | 16 | 17 | 1904 | 1905 | 3824 |
| RES | JC | 1888xD | | 16xFS | 1904xD |
| RES | JC | 1888xD | | 16xFS | 1904xD |
| RES | JC | 1888xD | | 16xFS | 1904xD |
| PSI | NJO | PJO | 1887xD | 16xFS | 1904xD |

Slika 3.4.2. Mapiranje 10G toka konstantnog protoka u OPU2

| OPU OH | | OPU Payload | | | | | |
|--------|-----|-------------|--------|-------|--------|------|--------|
| 15 | 16 | 17 | 1264 | 1265 | 1280 | 1281 | 3824 |
| RES | JC | 1248xD | | 16xFS | 1264xD | | 1264xD |
| RES | JC | 1248xD | | 16xFS | 1264xD | | 1264xD |
| RES | JC | 1248xD | | 16xFS | 1264xD | | 1264xD |
| PSI | NJO | PJO | 1247xD | 16xFS | 1264xD | | 1264xD |

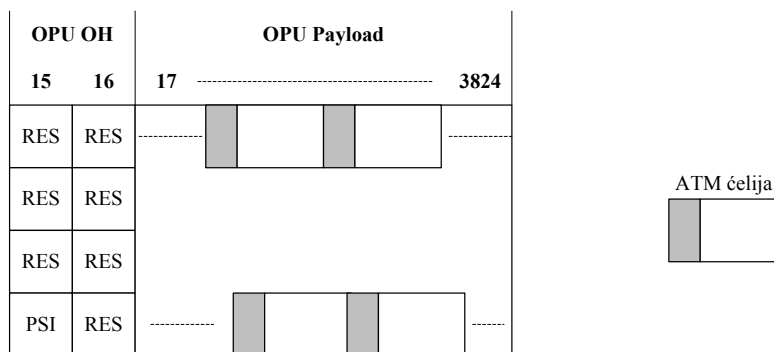
Slika 3.4.3. Mapiranje 40G toka konstantnog protoka u OPU3

D predstavlja korisničke bajtove. Pošto se protok korisničkog toka može razlikovati od protoka OPU jedinice, koristi se pozitivno ili negativno poravnanje. JC (*Justification Control*) bajtovi kontrolišu poravnanje, NJO (*Negative Justification Opportunity*) bajt se koristi za negativno poravnanje, a PJO (*Positive Justification Opportunity*) bajt za pozitivno poravnanje. Iz JC bajta se koriste samo biti na pozicijama 7 i 8, pri čemu se oni na predajnoj strani postavljaju na istu kodnu vrednost u sva tri JC bajt OPU zaglavља, a na prijemu se koristi majoritetno odlučivanje u njihovom tumačenju. FS (*Fixed Stuff*) bajtovi predstavljaju samo popunu da bi se do kraja popunila struktura OPU jedinice.

Tokovi konstantnog protoka se mogu mapirati asinhrono ili bit sinhrono. U slučaju asinhronog mapiranja, koristi se lokalni takt. Otuda se koristi pozitivno/negativno/nula poravnanje, pošto lokalni takt može biti u bilo kom odnosu na korisnički tok (sporiji, brži ili jednak). U slučaju bit sinhronog mapiranja koristi se takt izvučen iz korisničkog toka. U ovom slučaju je PJO uvek korisnički bajt, NJO je uvek bajt poravnanja, a JC biti na pozicijama 7 i 8 uvek imaju kodnu vrednost 00. Tabela 3.4.1 prikazuje vrednosti JC bita na pozicijama 7 i 8 za asinhrono mapiranje i bit sinhrono mapiranje, kao i tumačenja NJO i PJO bajtova, a takođe prikazuje i tumačenja ovih bajtova na prijemu prilikom demapiranja korisničkog toka iz OPU jedinice. Vrednost 10 u bitima 7,8 JC bajta se ne bi smela generisati, pa samim tim ni primiti na prijemnoj strani, ali u slučaju da se primi zbog grešaka u prenosu definisano je demapiranje i u tom slučaju.

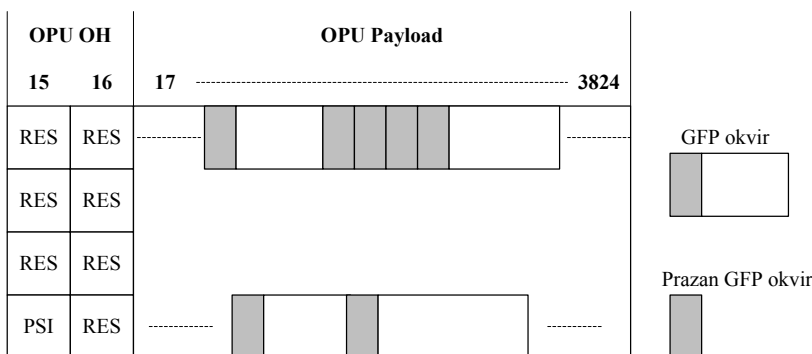
Tabela 3.4.1 - Tumačenja JC, NJO, PJO bajtova

| JC (biti 7,8) | NJO | PJO |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Asinhrono mapiranje | | |
| 00 | bajt poravnanja | korisnički bajt |
| 01 | korisnički bajt | korisnički bajt |
| 10 | ne generiše se kod 10 | |
| 11 | bajt poravnanja | bajt poravnanja |
| Bit sinhrono mapiranje | | |
| 00 | bajt poravnanja | korisnički bajt |
| 01 | ne generiše se kod 10 | |
| 10 | ne generiše se kod 10 | |
| 11 | ne generiše se kod 10 | |
| Demapiranje | | |
| 00 | bajt poravnanja | korisnički bajt |
| 01 | korisnički bajt | korisnički bajt |
| 10 | bajt poravnanja | korisnički bajt |
| 11 | bajt poravnanja | bajt poravnanja |



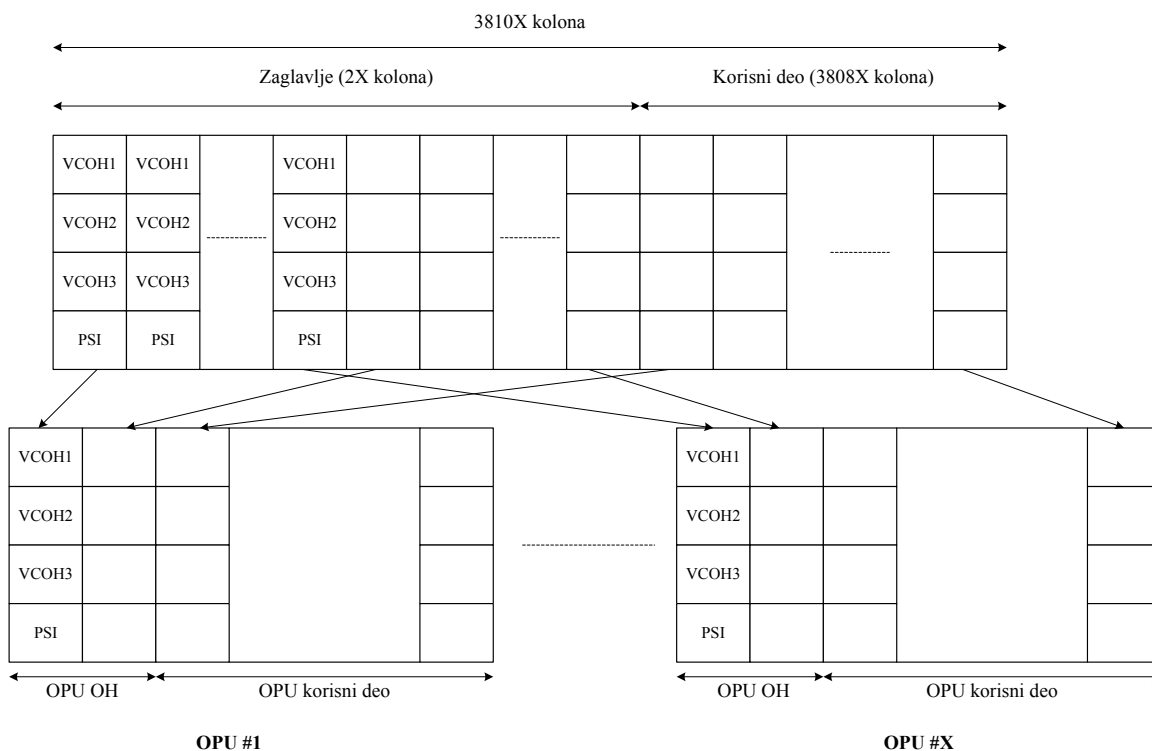
Slika 3.4.4. Mapiranje ATM ćelija

U slučaju mapiranja ATM ćelija ili GFP okvira, ATM ćelije i GFP okviri se smeštaju u korisni deo OPU jedinice, pri čemu su ATM ćelije, odnosno GFP okviri poravnati na nivou bajta. U ova dva mapiranja se ne koriste bajtovi poravnanja kao kod tokova konstantnog protoka. Otuda se u OPU zaglavlju koristi samo PSI bajt. Na slikama 3.4.4 i 3.4.5 su prikazana mapiranja ATM ćelija, odnosno GFP ćelija u OPU jedinicu. GFP tehnika se primenjuje na identičan način kao u SDH mrežama (standard G.7041). U aneksu B G.709 standarda je opisana metoda transparentnog prenošenja 64B/66B koda koja je veoma slična metodi za transparentan prenos 8B/10B koda.



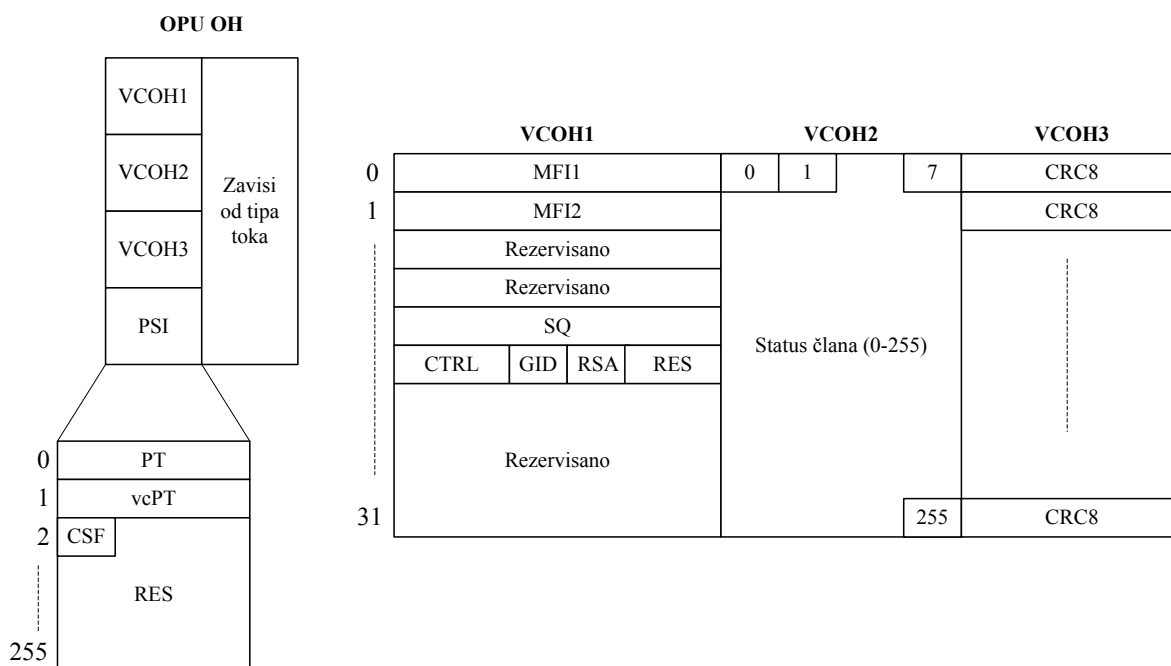
Slika 3.4.5. Mapiranje GFP okvira

Da bi se obezbedila fleksibilnost sa stanovišta protoka korisničkih tokova, u OTN mrežama se koristi i tehnika virtuelne konkatanacije kao u SDH mrežama, pošto se ona pokazala veoma dobro u SDH mrežama. Takođe, iz SDH mreža je preuzeta i upotreba LCAS tehnike iz istih razloga, a kojom se omogućava dinamičko menjanja protoka kroz OTN mrežu obezbeđenog korisniku bez raskidanja trenutne veze.



Slika 3.4.6. Virtuelna konkatanacija

Na slici 3.4.6 je prikazana ideja virtuelne konkatanacije u OTN mrežama. Korisnički tok se razbija na X OPU jedinica tako da se postigne željeni protok kroz OTN mrežu. Razbijanje na OPU jedinice se vrši na nivou kolona. U OPU zaglavlju se definišu VCOH1-3 bajtovi koji se koriste u okviru virtuelne konkatanacije. Struktura ovih bajtova je prikazana na slici 3.4.7. Takođe, u okviru strukture koja se formira pomoću PSI bajta, drugi bajt (vcPT) te strukture se takođe koristi u procesu virtuelne konkatanacije. Struktura koja se razmenjuje preko VCOH bajtova ima periodu od 32 OCh strukture, pa se otuda koristi MFAS (5 bita) za određivanje trenutne pozicije u toj periodičnoj strukturi. Sadržaj druge kolone zavisi od tipa korisničkog toka. Na primer, za tokove konstantnog protoka tu bi se nalazili JC bajtovi i NJO bajt, a takođe i PJO bajt bi se nalazio u korisnom delu OPU jedinice kao što je prikazano i na slikama 3.4.1-3.4.3.



Slika 3.4.7. Struktura VCOH bajtova

Tabela 3.4.2 - Tipovi korisničkog signala u slučaju virtuelne konkatanacije

| vcPT | Tip korisničkog signala |
|----------|----------------------------|
| 0000010 | Asinhrono CBR mapiranje |
| 0000011 | Bit sinhrono CBR mapiranje |
| 00000100 | ATM mapiranje |
| 00000101 | GFP mapiranje |

U okviru strukture koja se razmenjuje preko PSI bajta se definiše vcPT bajt kojim se definiše tip korisničkog toka na koji je primenjena virtuelna konkatanacija. U tabeli 3.4.2 su prikazana pojedina tumačenja vcPT bajta, a kompletan spisak se može naći u G.709 preporuci. Na osnovu tabele 3.2.3 je jasno da je vrednost PT bajta jednaka 00000110 da bi se označila upotreba virtuelne konkatanacije. CSF (*Client Signal Fail*) bit se koristi da bi predajna strana signalizirala prijemnoj strani da je došlo do pada korisničkog signala i da usled toga korisnički tok nije mapiran u OPU jedinice.

Pošto rastojanja između krajnjih tačaka između kojih se razmenjuju OPU jedinice (OPU sekcija) mogu biti veoma velika, MFAS signal može biti nedovoljan da pokrije vreme

propagacije tj. kašnjenje kroz OTN mrežu što može dovesti do problema rekonstrukcije originalnog toka ako svih X tokova ne idu istim putem pogotovo ako se uzme brzina protoka OPU jedinica jer se tada veoma brzo prođe kroz jednu periodu MFAS signala. U takvim slučajevima je potrebno kompenzovati razlike u kašnjenjima različitih puteva pa se uvodi dodatni signal MF11 i MF12 (*MFI - Multiframe Indicator*) koji zajedno sa MFAS signalom formiraju dvostepenu nadram strukturu. MF11 i MF12 zajedno formiraju 16-bitni brojač koji se inkrementira svaki put kad MFAS bude jednak 0. Na ovaj način se izbegava problem potencijalne loše sinhronizacije tokova na prijemu i time pogrešno rekonstruisanje originalnog korisničkog toka.

SQ (*Sequence Indicator*) predstavlja redni broj individualnog toka u originalnom (zбирnom) korisničkom toku (vrednosti idu od 0 do X-1). Očigledno, virtuelna konkatanacija podržava do 256 individualnih tokova, tj. $X_{\max}=256$. SQ je neophodan da bi se ispravno mogla izvršiti rekonstrukcija originalnog toka.

CTRL (*LCAS Control Words*) sadrži LCAS komande. LCAS je u potpunosti preuzet iz SDH mreža, tj. koristi se G.7042 standard. GID (*LCAS Group Identifier*) se koristi na prijemnoj strani kao verifikacija da su svi individualni tokovi potekli od istog predajnika. RSack (*Re-Sequence Acknowledgment*) se koristi u procesu promene broja individualnih tokova (povećanja ili smanjenja). CTRL, GID i RSack su detaljnije objašnjeni u okviru prethodnog poglavlja, i sva objašnjenja koja su data u prethodnom poglavlju važe i za OTN mreže jer je LCAS u potpunosti preuzet iz SDH mreža.

MST (*Member Status*) se koristi za signaliziranje stanja individualnih tokova (OK ili FAIL). CRC-8 zaštita vrši zaštitu vrednosti VCOH1 i VCOH2 bajtova. Koristi se generišući polinom $x^8+x^3+x^2+1$ (ovaj generišući polinom se razlikuje u odnosu na generišući polinom korišćen u SDH mrežama). Proračunata vrednost se smešta u VCOH3 bajt. Još jednom napomenimo da je LCAS u potpunosti preuzet iz SDH mreža i da objašnjenja polja i njihova upotreba u LCAS tehnici data u prethodnom poglavlju važe i za OTN mreže.