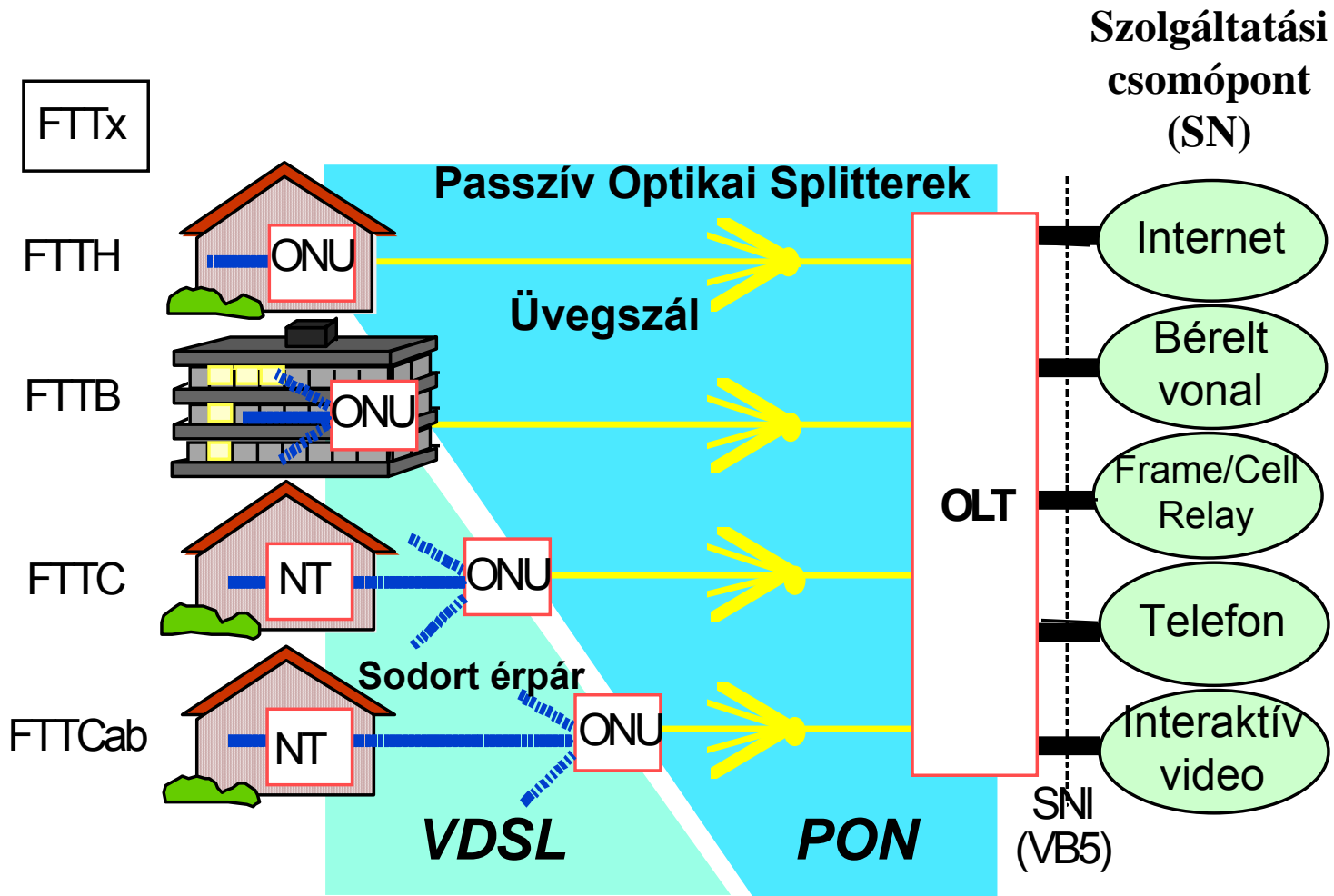


BMEVIHIM354 Hálózattervezés

5. Passzív optikai hozzáférési hálózat logikai tervezése

*Fazekas Péter, Jakab Tivadar
Híradástechnikai tanszék*

Fényvezető végpontja szerinti megoldási változatok

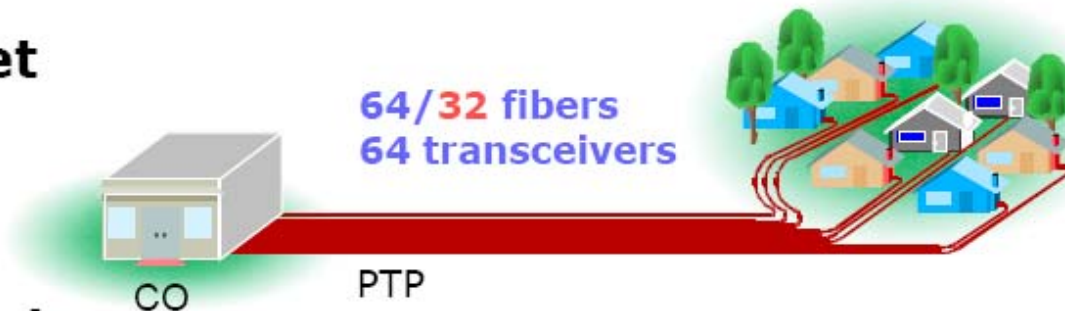


Optikai alapú Ethernet-hozzáférés

N=32 háztartás

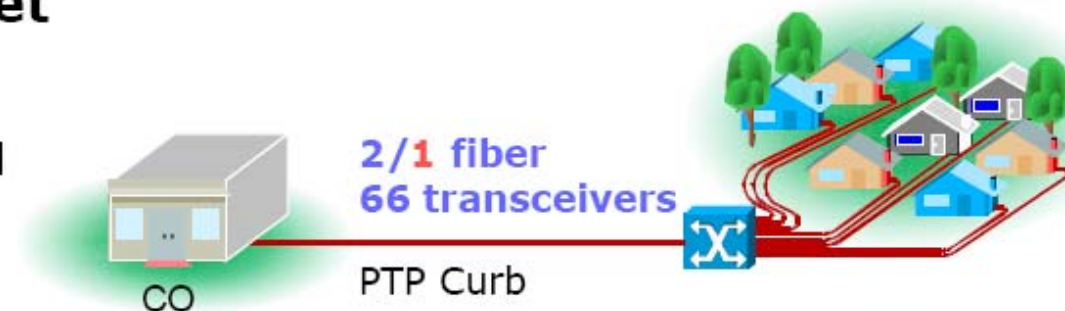
Point-to-point Ethernet

- 2N fibers
- 2N optical transceivers



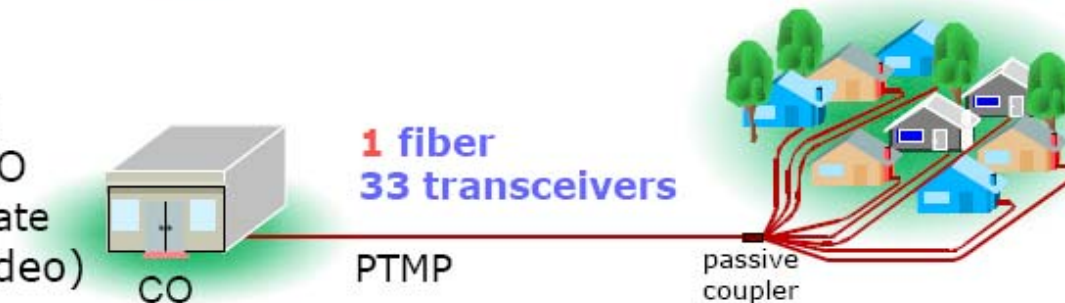
Curb Switched Ethernet

- Minimum Fiber
- 2N+2 optical transceivers
- Electrical power in the field



Ethernet PON (EPON)

- Minimum fiber
- N+1 optical transceivers
- No electrical power in field
- Minimum fibers/space in CO
- Drop throughput up to trunk rate
- Downstream broadcast (video)

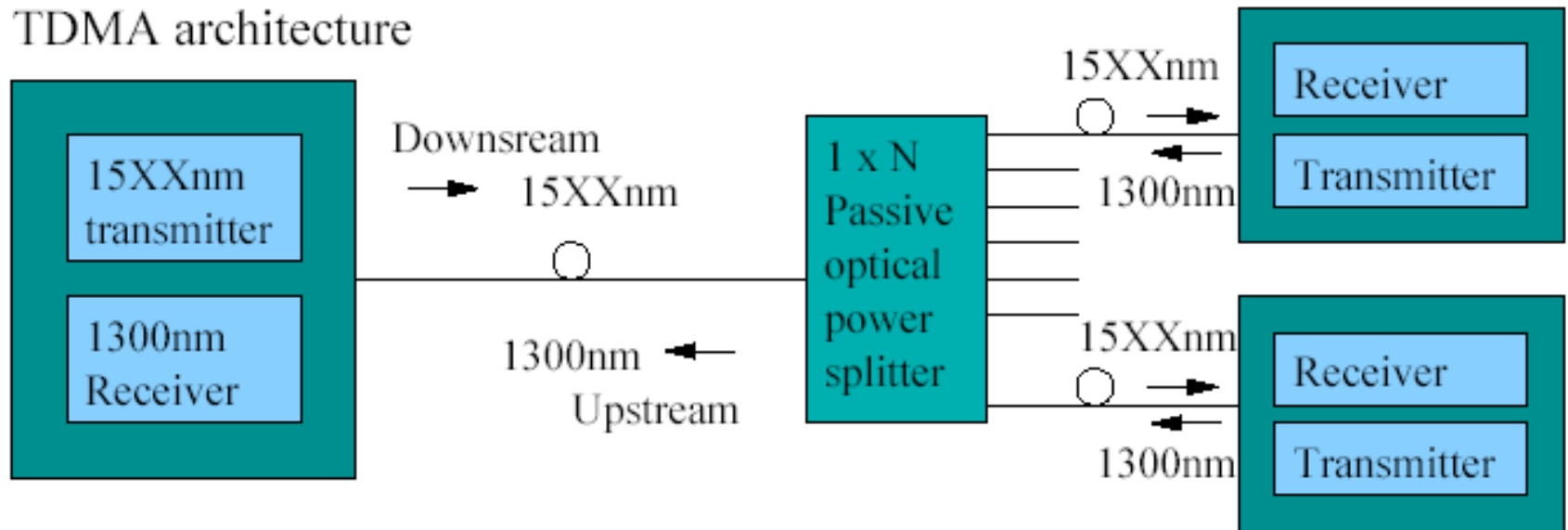


- passzív optikai hálózat (TDM, WDM)
- magas induló beruházásigény, kulcskérdés az infrastruktúra (community networks)
- jelenleg az üzleti szolgáltatásokban (bérelt sötét szál/optikai csatorna, OVPN)
- fokozatos megvalósulás (hibrid architektúrák CTTx)
- Előnyök
 - kiváló minőségi és rendelkezésre állási jellemzők
- Hátrányok
 - skálázhatóság (költség, sáv szélesség)

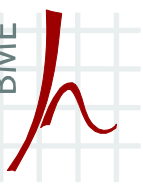
- **TDM PON**
 - összesen 1-1 hullámhossz
 - letöltés üzenetszórás
 - feltöltés TDM (dedikált időrések)
- **WDM PON**
 - felhasználónként 1-1 hullámhossz

TDM PON

TDMA architecture



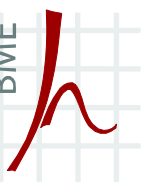
- **APON (ITU-T G.983.1)**
 - Aszimmetrikus le- és feltöltés
 - Letöltés: üzenetszórással, 1490 nm hullámhosszon, 622 Mbps sebességgel.
 - Feltöltés: TDMA hozzáféréssel, 1310 nm hullámhosszon, 155 Mbps sebességgel.
 - Osztás: tápláló kábelenként (OLT portonként) 32 darab elágazás (32 db ONU végberendezés) amely legalább 4,8 Mbps/előfizető feltöltési sebességet garantál.
 - Távolság: a szabvány maximum 20 km-es távolságot enged meg az OLT és az ONU között. (Ha 19 km-re van a splitter ott 1 km-es kört tud kiszolgálni, ha 10 km-re van a splitter ott 10 km-es kört tud kiszolgálni.)
 - Layer 2 protokoll: ATM-AAL



TDM PON

- **BPON ITU-T G.983**

- Aszimmetrikus le- és feltöltés
- Letöltés: üzenetszórással, 1490 nm hullámhosszon, 1,244 Gbps sebességgel.
- Feltöltés: TDMA hozzáféréssel, 1310 nm hullámhosszon, 622 Mbps sebességgel.
- Osztás: tápláló kábelenként (OLT portonként) 32 darab elágazás (32 db ONU végberendezés) amely legalább 19,4 Mbps/előfizető feltöltési sebességet garantál.
- Távolság: a szabvány maximum 20 km-es távolságot enged meg az OLT és az ONU között.
- Layer 2 protokoll: ATM-AAL és overlay RF videó szétosztás 1550 nm hullámhosszon.
- Támogatott szolgáltatások: POTS, ISDN, adat, CATV, VoD, LAN interconnection, Video Conference.

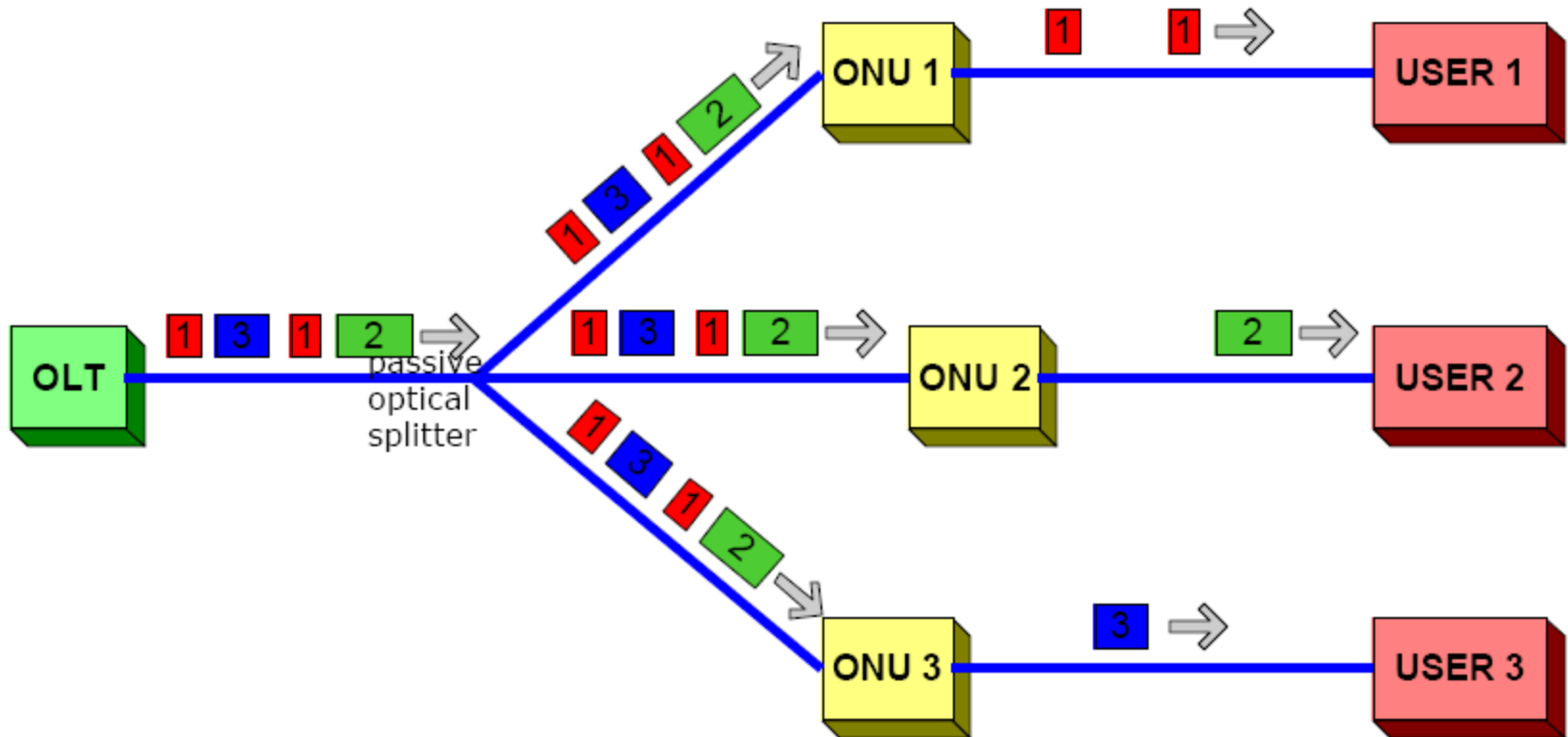


TDM PON

- **GPON ITU-T (G.984.1 és G.984.2)**
 - Aszimmetrikus vagy szimmetrikus le- és feltöltés
 - Letöltés: üzenetszórással, 1490 nm hullámhosszon, 1,244 vagy 2,5 Gbps sebességekkel.
 - Feltöltés: TDMA hozzáféréssel, 1310 nm hullámhosszon, 155 Mbps, 622 Mbps, 1,244 Gbps vagy 2,5 Gbps sebességekkel.
 - Osztás: tápláló kábelenként (OLT portonként) 64 darab elágazás (64 db ONU végberendezés)
 - Távolság: a szabvány maximum 20 km-es fizikai távolságot enged meg az OLT és az ONU között, de a protokoll lehetővé teszi a 60 km-es távolságot is.
 - Layer 2 protokoll: SDH kompatibilis GFP speciális változata ITU-T G.7041 (GPON Encapsulation Mode, GEM) ATM, Ethernet és TDM is mehet rajta
 - Támogatott szolgáltatások: Full Service: beszéd, TDM, Ethernet, ATM, bérelt vonal, vezeték nélküli kiterjesztés, stb.

- EPON (IEEE 802.3ah)
 - Szimmetrikus le- és feltöltés
 - Letöltés: üzenetszórással, 1490 nm hullámhosszon, 1 Gbps adatsebességgel.
 - Feltöltés: TDMA hozzáféréssel, 1310 nm hullámhosszon, 1 Gbps adatsebességgel.
 - Osztas: tápláló kábelenként (OLT portonként) 16/32 darab elágazás (16/32 db ONU végberendezés) amely legalább 62,15/31,25 Mbps/előfizető feltöltési sebességet garantál.
 - Távolság: a szabvány maximum 10-20 km-es távolságot enged meg az OLT és az ONU között.
 - Layer 2 protokoll: Gigabit Ethernet sebességű Multi-Point Control Protocol (MPCP)

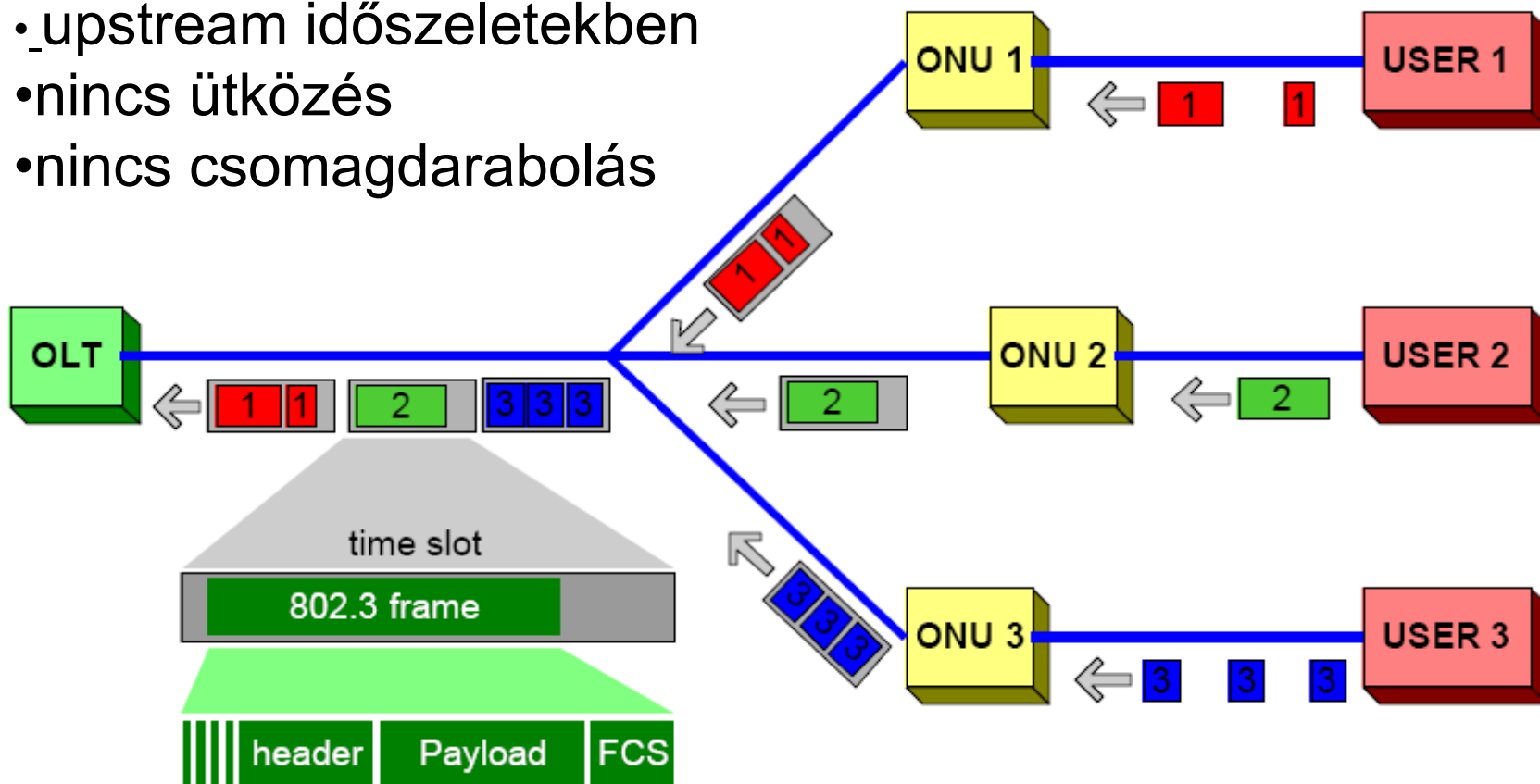
TDM PON - downstream



- downstream : broadcast
- 802.3 keretek extraktálása MAC cím alapján

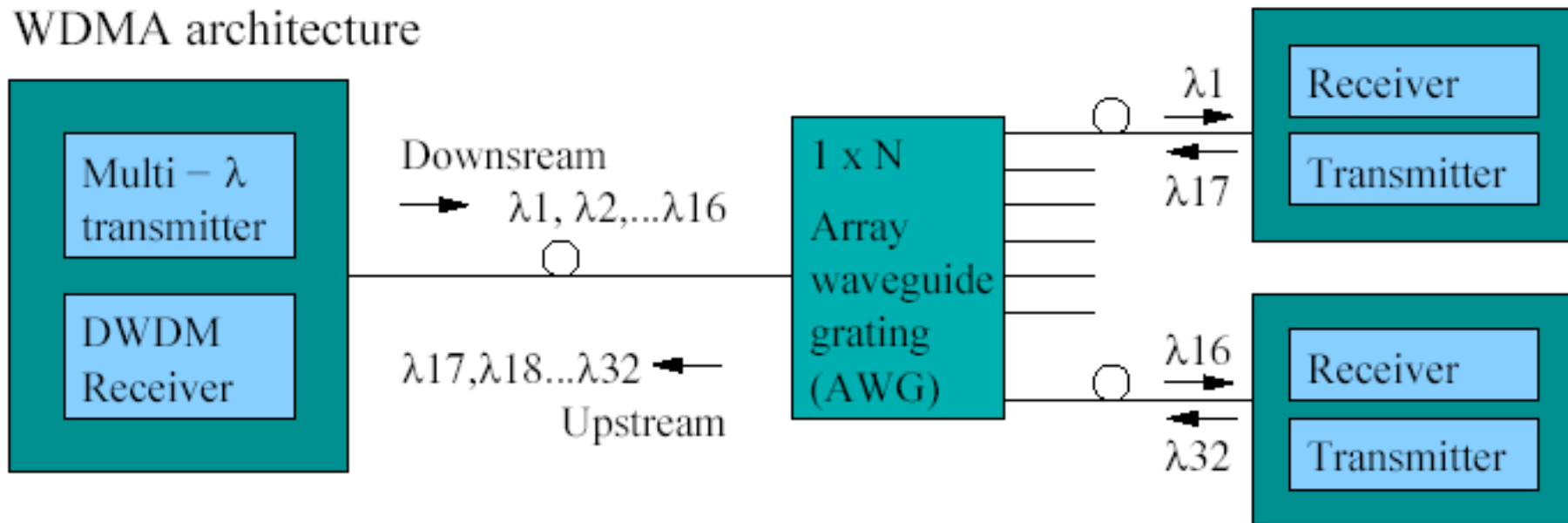
TDM PON - upstream

- upstream időszeletekben
- nincs ütközés
- nincs csomagdarabolás

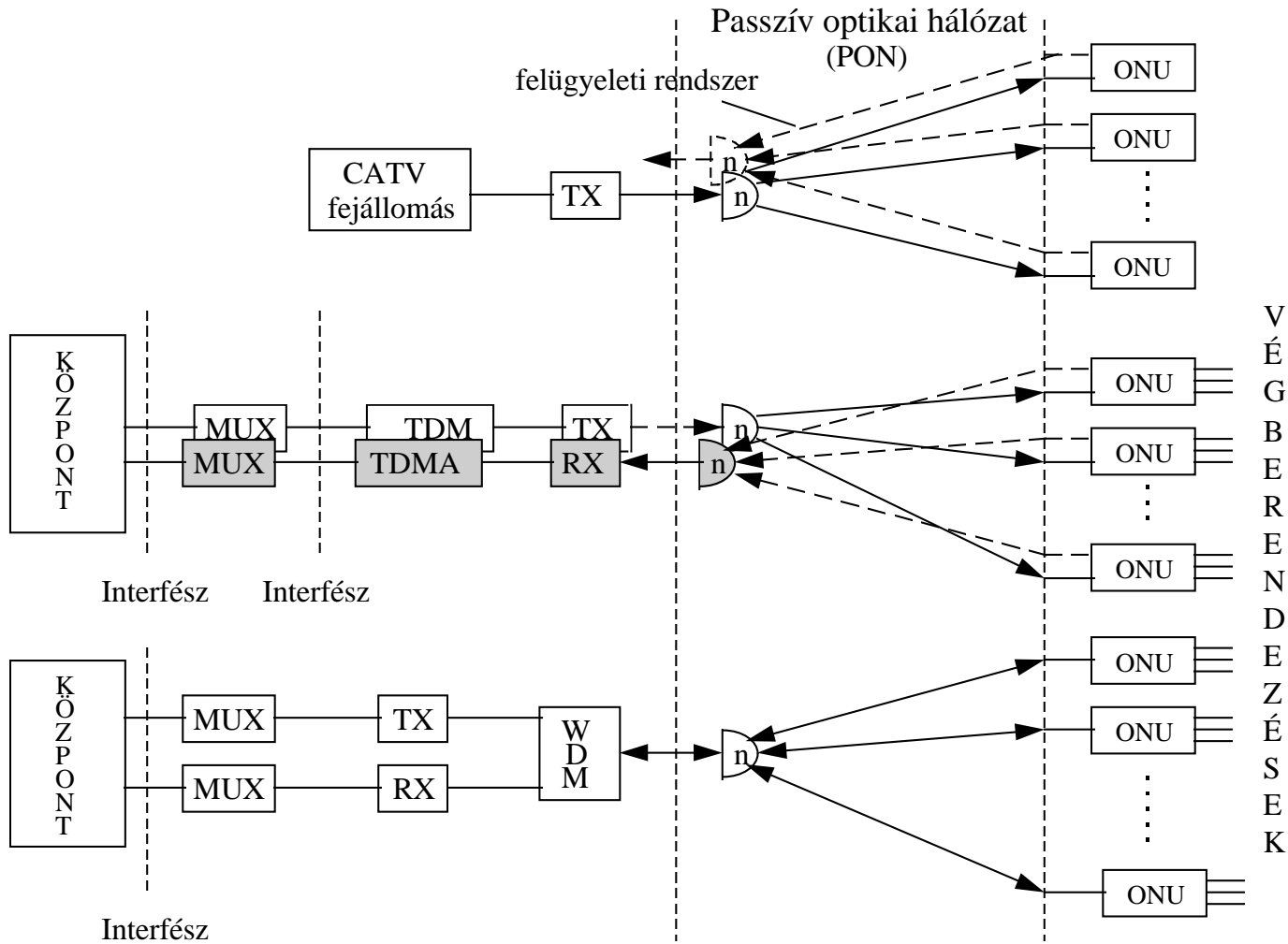


WDM PON

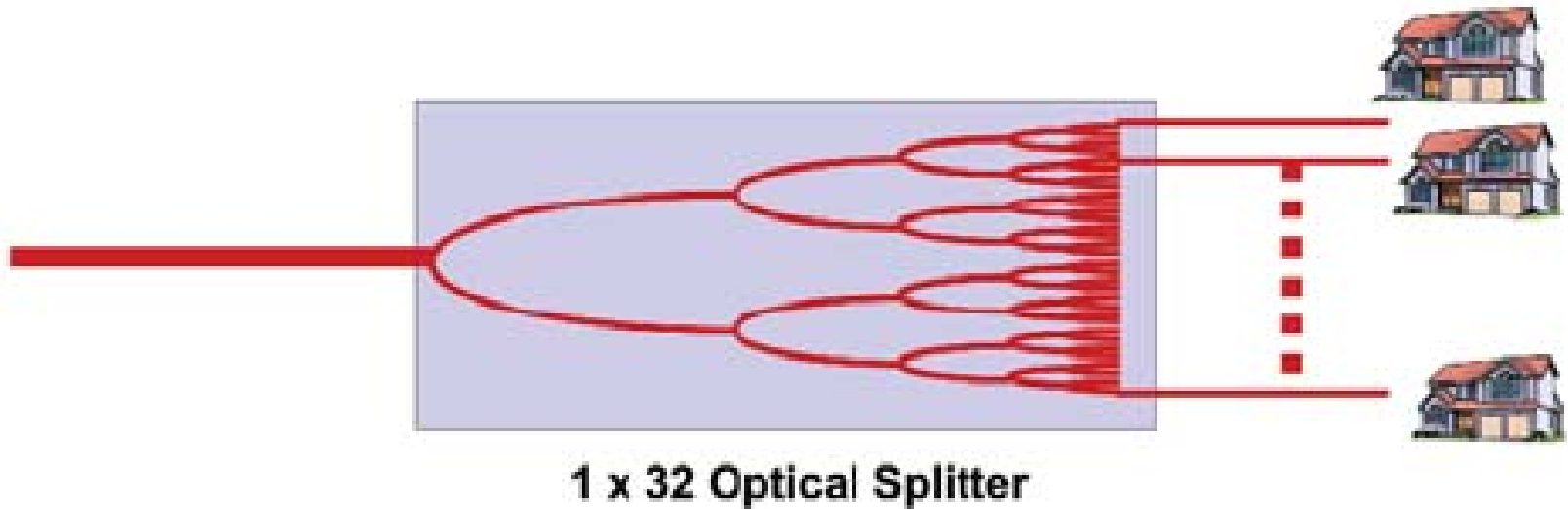
WDMA architecture



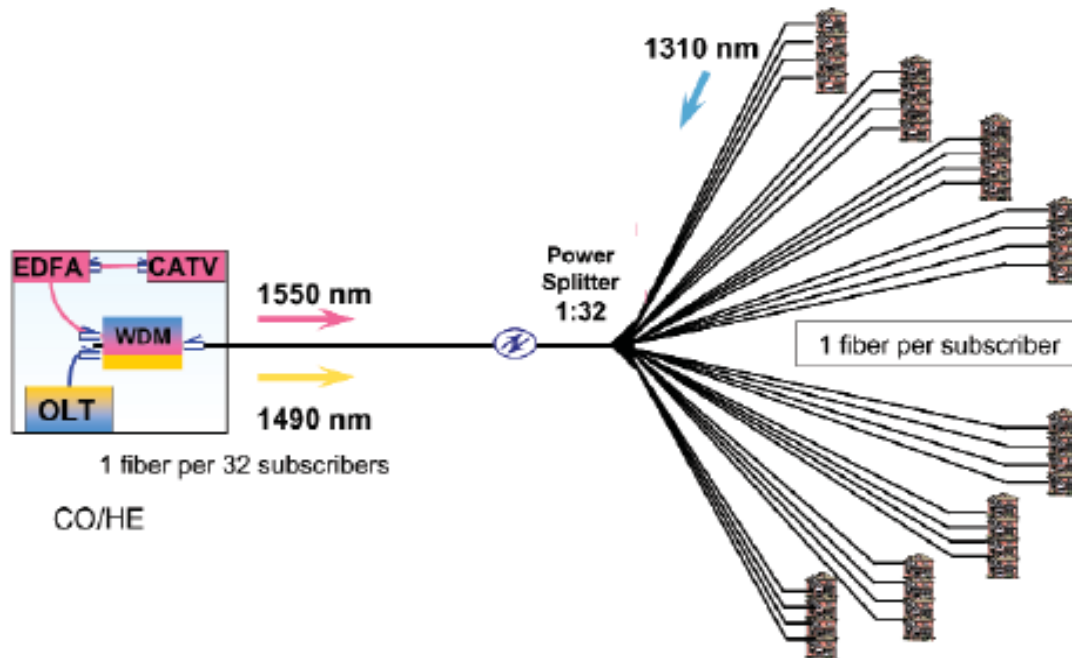
PON topológia



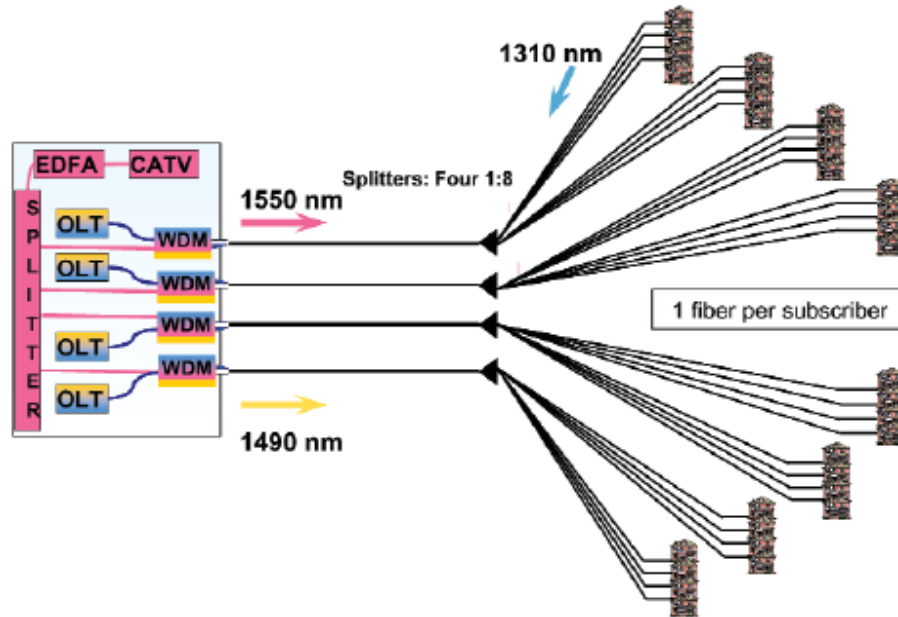
Passzív optikai osztás



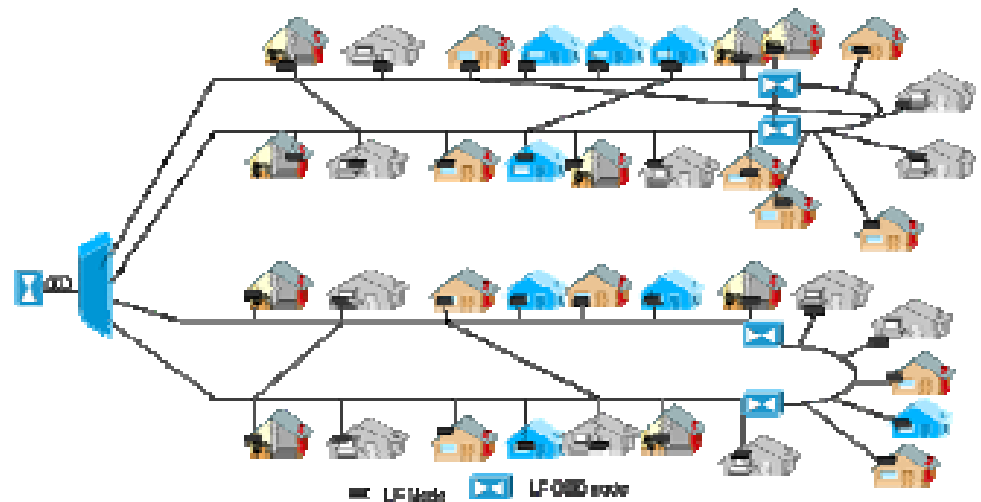
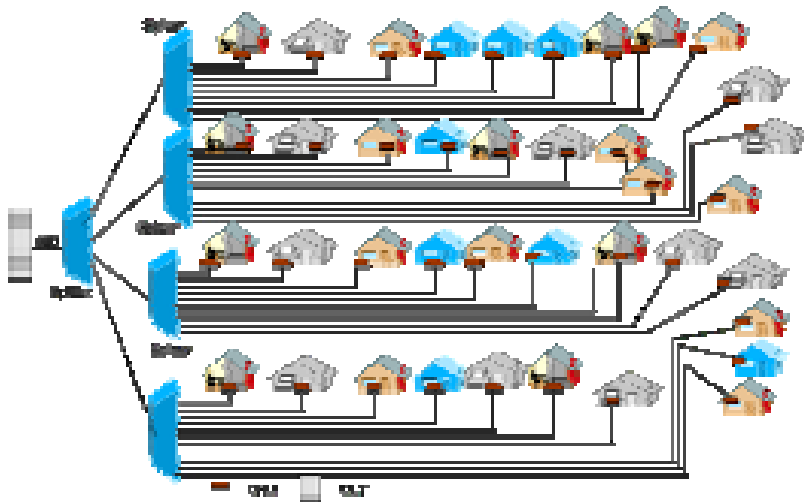
TDM PON



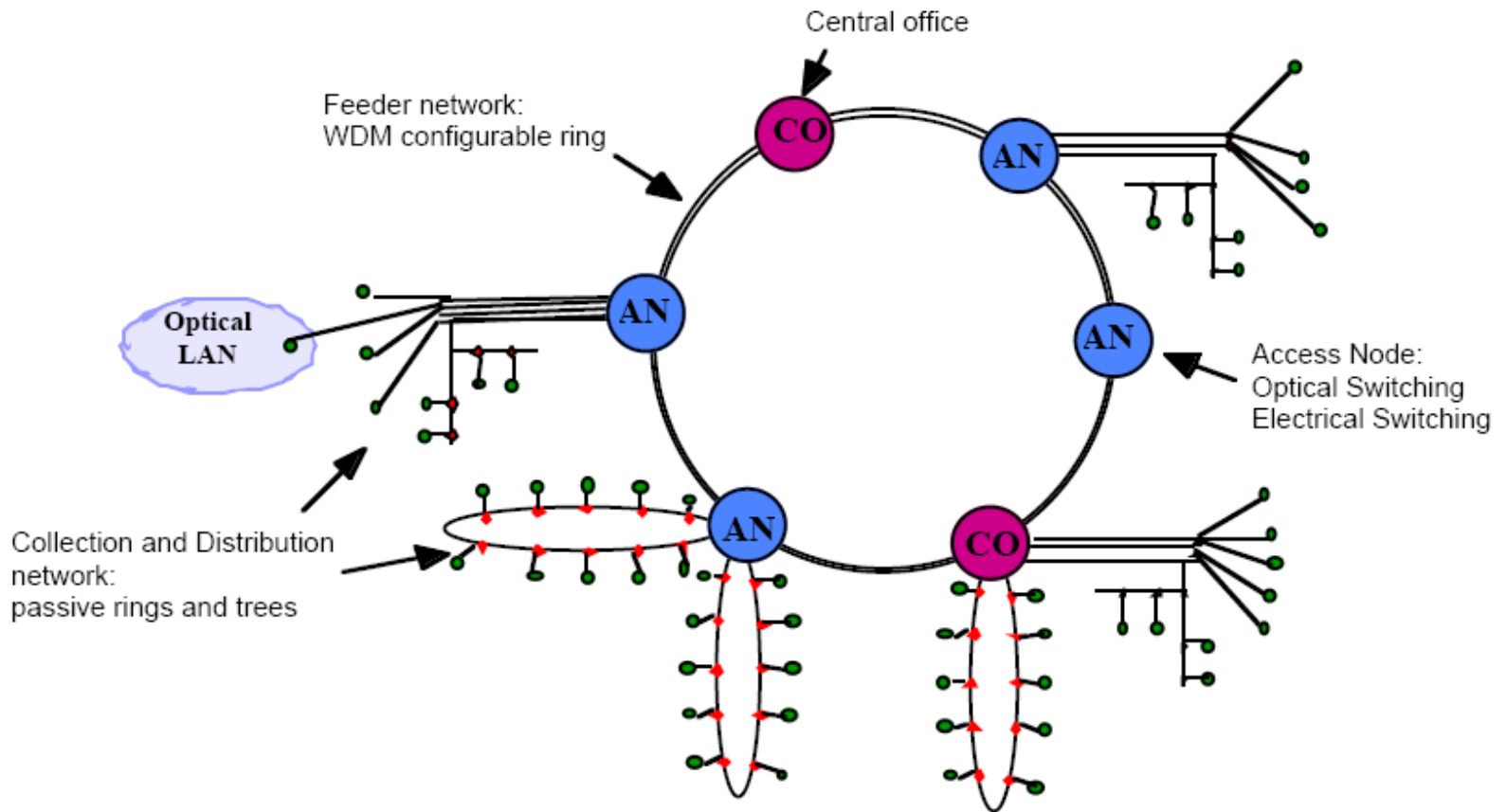
TDM WDM PON



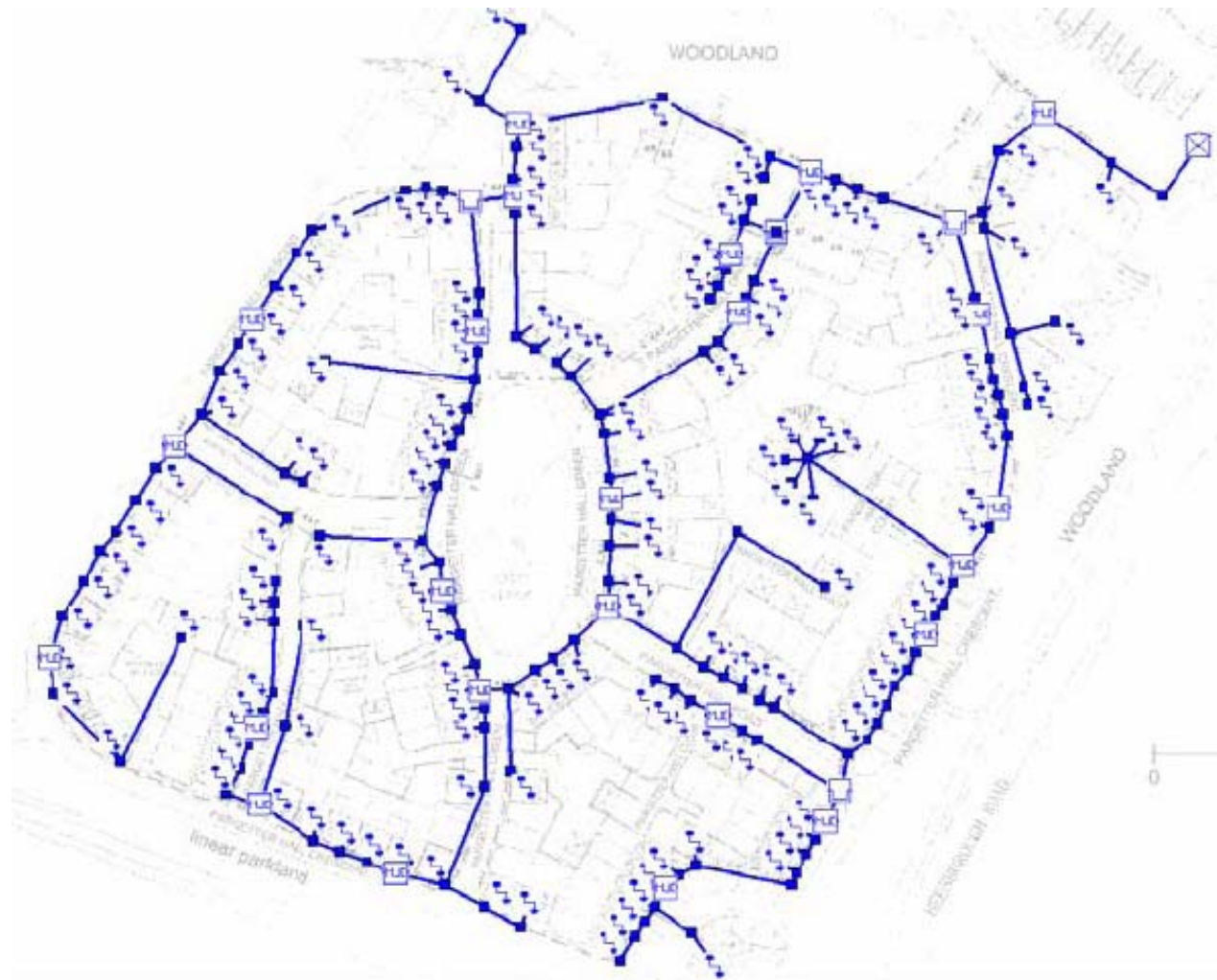
PON és Light Mesh



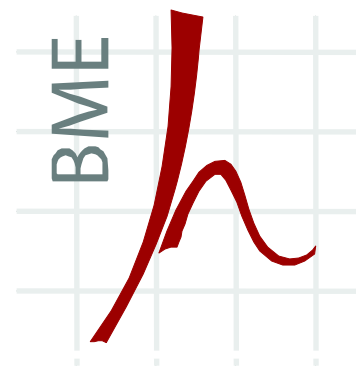
PON architektúra: WDM gyűjtőgyűrű és különböző hozzáférési megoldások



PON hálózat



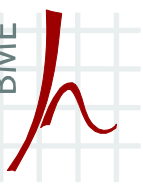
- **WDM PON**
 - dedikált link minden felhasználónak (nincs verseny)
 - a távolságot a kábel csillapítása korlátozza
- **TDM PON**
 - időben dinamikusan osztott uplink (ütemező vezérlő)
 - a hosszát downlink irányban – maximált optikai hossz
 - a jelszint korlátozza (adóteljesítmény, szálcsillapítás, szálhossz, n-es osztó csillapítása, vevőérzékenység)
 - a hosszát uplink irányban a maximális logikai távolság korlátozza – az optikai hosszak különbsége maximált
 - a TDM multiplexálási ponttól mért legkisebb és legnagyobb távolság (terjedési időben)



PON tervezési modell

PON tervezési modell

- **Az (egyszerűsített) alapfeladat – egy PON rendszer méretezése**
 - egy, adott helyen lévő csatlakoztatási pont (OTN)
 - a felhasználók (közösen csatlakoztatott felhasználói csoportok) a csatlakoztatási ponthoz hozzárendelve
 - Az egyes felhasználók számára biztosítandó sáv szélesség (egyszerűsített, additív metrikájú) adott
 - a meglévő és potenciálisan építhető kábelinfrastruktúra adott
 - meghatározandó a csatlakoztatás módja (topológia + rendszertechnika: milyen pontról, milyen nyomvonalon milyen osztópontokkal)
- **A keresett megoldás**
 - fa topológia a meglévő és új építésű kábeleken
 - technológiai korlátok
 - rendszerkapacitás (közös szakasz kapacitása)
 - OTN-ONU közti csillapítás korlátja (optikai távolság, osztásszám)
 - differenciális távolság (legközelebbi és legtávolabbi felhasználói csatlakozás közti különbség) maximalizált
 - passzív osztók osztási képesség
 - költségminimum (kábelépítés, osztók száma, típusa)



Feszítőfa

- **(Gráfmodell) Adott**
 - felhasználói igények (sávszélesség, additív)
 - felhasználható élek (meglévő, új – eltérő költséggel: előbbire hatékony erőforrás-felhasználás, utóbbira minimális beruházási költség modellezéséhez)
- **Jelölések**
 - felhasznált élek indikálása: $i_{u,v} = 1$, ha az u és v pont közti élt felhasználjuk a megoldásban (irányítatlan gráf – csak nyomvonal, válasszuk az $u < v$ konvenciót, hogy egy élre csak egyféleképpen hivatkozzunk)
 - $e_{u,v}^{s,t} = 1$, ha az (s,t) igény útja az (u,v) élen áthalad
 - $p_u^{s,t} = 1$, ha az (s,t) igény útja az u ponton áthalad

- **A modell**

- $\sum i_{u,v} = n-1$, a felhasznált élek száma a fa tulajdonság alapján
- a feszítőfához az összefüggőség is kell: minden csatlakoztatandó s felhasználótól egy folyam a t gyökérhez
- folyammegmaradási szabályok
 - a forrásból (s) kifolyik teljes folyam, egyszer – egy él
 - a nyelőbe (t) befolyik a teljes folyam, egyszer – egy él
 - a többi pontra amiket áthalad belépő és egy kilépő él, amiket nem azokra nincs
 - $\sum e_{u,v}^{s,t} = 1$ összegzés $\forall (u,v): u=s$ vagy $v=s$
 - $\sum e_{u,v}^{s,t} = 1$ összegzés $\forall (u,v): u=t$ vagy $v=t$
 - $\sum e_{u,v}^{s,t} - 2p_w^{s,t} = 0$ összegzés $\forall (u,v): u=w$ vagy $v=w$ és $w \neq s$ és $w \neq t$
- használt élek azok, amiken legalább egy folyam megy
 - $konst * i_{u,v} - \sum e_{u,v}^{s,t} \geq 0$
 - $konst * \max \sum e_{u,v}^{s,t}$ alapján
 - ha $\sum e_{u,v}^{s,t}$ akkor a célfüggvény!

- A rendszer kapacitáskorlátjának figyelembevételéhez az életterhelések meghatározása szükséges
- Jelölések
 - $maxkap_{u,v}$ az (u,v) él maximális kapacitása
 - $igény_{s,t}$ az s felhasználó sáv szélesség igénye
- Modell
 - $maxkap_{u,v} - \sum e_{u,v}^{s,t} * igény_{s,t} \geq 0$

- Fix konfigurációjú passzív osztók (2, 4, 8, 16, 32, 64)
- Fa topológia miatt 1 bejövő fokszám-1 kimenő + 1 osztás a végződőnek: osztásszám=fokszám-1+1=fokszám
- A gyökér speciális mert nincs bejövő, de nincs saját végződő sem: osztásszám=fokszám
- **Modell**
 - $\sum i_{u,v} - d_w = 0$ összegzés $\forall (u,v): u=w$ vagy $v=w$, ahol d_w a w pont fokszáma
 - pontosan egy osztó minden pontban, amire $d_w \leq od$ és ezen od -k közül a legkisebb (célfüggvény!)

Távolság, csillapítás

- Két csillapítási tényező: úthossz, passzív szétjelosztás
- Úthossz az élek összhossza:
 - $úthossz_{s,t} = \sum e_{u,v}^{s,t} * élhossz_{u,v}$
- Osztócsillapítás a bejárt csomópontok oszóinak összcsillapítása:
 - $össz_osztócsillapítás_{s,t} = \sum p_w^{s,t} * \sum osztó_{a,w} * oszt_csill_a$, ahol $osztó_{a,w}$ a w pontban lévő a ágyszámú osztó, és $oszt_csill_a$ az a ágyszámú osztó csillapítása
- Csillapításkorlát:
 - $úthossz_{s,t} * egys_kabelcsill + össz_osztócsillapítás_{s,t} \leq maxcsill$

Differenciális távolság

- A puffermentes – optikai jelösszeadásra alapozott – időalapú multiplexálás miatt a legközelebbi és legtávolabbi felhasználó távolságának különbsége (jelterjedési időkülönbség) maximalizált
- A modell:
 - $útmax = \max \text{úthossz}_{s,t}$, $útmin = \min \text{úthossz}_{s,t}$
 - $útmax - útmin \leq \text{max_diff_tav}$

- **Építendő kábelek költsége**
 - kábelköltség = $\sum i_{u,v} * \text{élhossz}_{u,v} * \text{költség}_{u,v}$
 - a meglévők költsége 0 (vagy nagyon alacsony – hogy az észszerű használat kikényszeríthető legyen)
- **Felhasznált osztók költsége**
 - osztóköltség = $\sum \text{osztó}_{a,w} * \text{oszt_költség}_a$
- **Minimalizálandó összköltség**
 - kábelköltség + osztóköltség

- Általános modellezési módszer és modell a hozzáférési hálózatok tervezéséhez
- Alapvetően elvi modell
 - LP vagy MILP alapon implementálható
 - nemlineáris összefüggések linearizálására „trükkök”
 - gyakorlati méretű problémák rosszul skálázódnak (sok változó, simplex módszer valós->egész relaxálás)
 - heurisztikák definiálásához jó alap, és bizonyos mérethatáron belül minősítő egzakt referencia is
- Egy részletesen ismertetett technológiai példa: PON