

Optik Erişim Ağları

DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ABDULLAH SEVİN

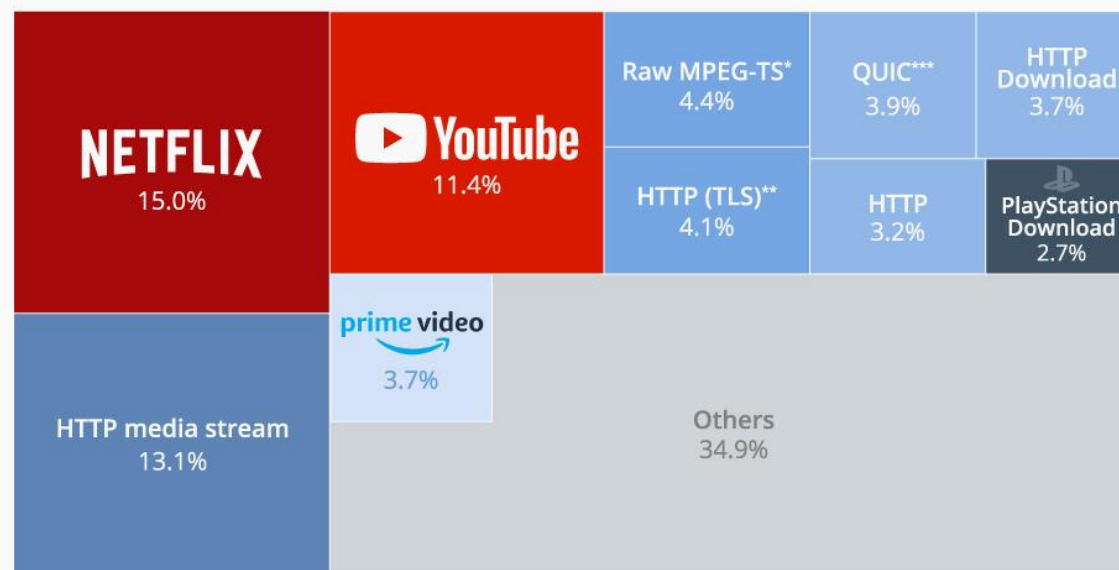
Amaç

- Optik Erişim Ağlarını tanımak

Global Internet Grafiği

Netflix is Responsible for 15% of Global Internet Traffic

Distribution of worldwide downstream traffic, by web application



* Digital container format for the transmission and storage of audio, video, and data.

** Security protocol

*** Network protocol designed to speed up online web applications

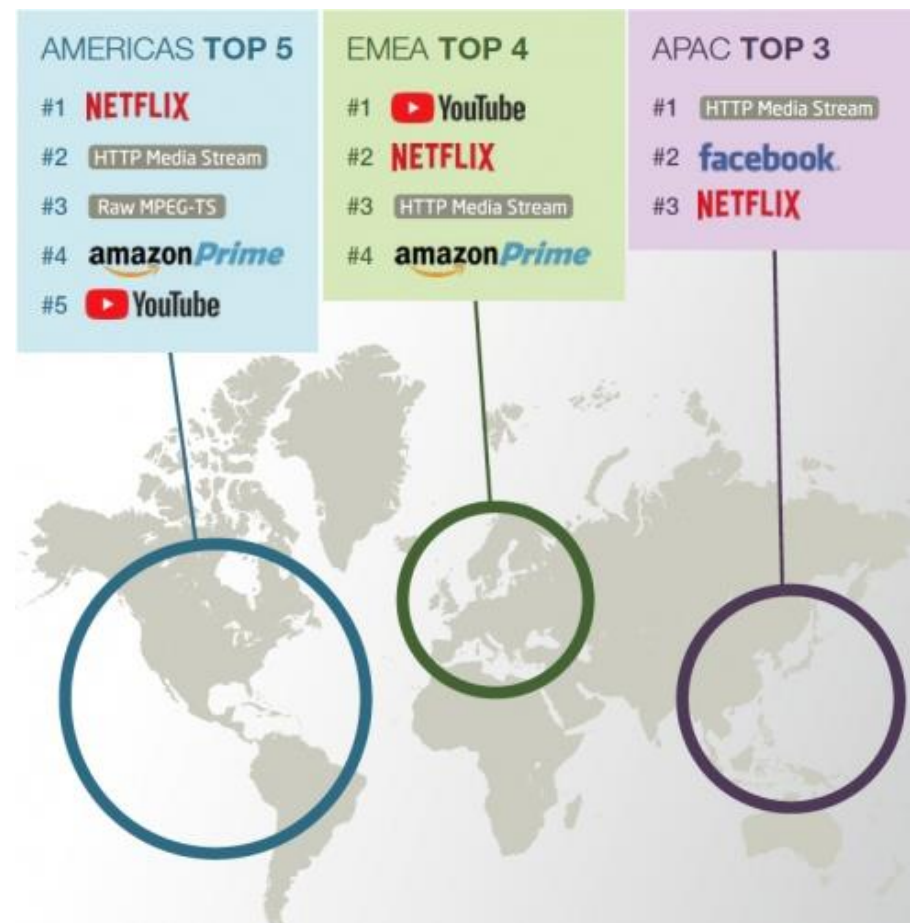
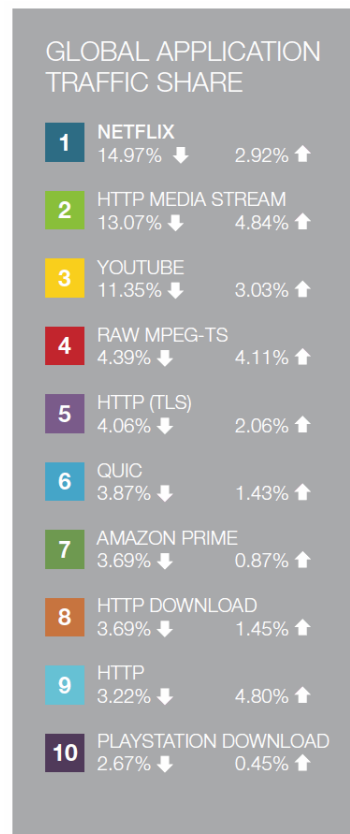


@StatistaCharts

Source: Sandvine | The Global Internet Phenomena Report

statista

Global Internet Grafiği



Global Internet Grafiği

Year	Global Internet Traffic
1992	100 GB per day
1997	100 GB per hour
2002	100 GB per second
2007	2,000 GB per second
2017	46,600 GB per second
2022	150,700 GB per second

Table 1. The Cisco VNI forecast: historical Internet context

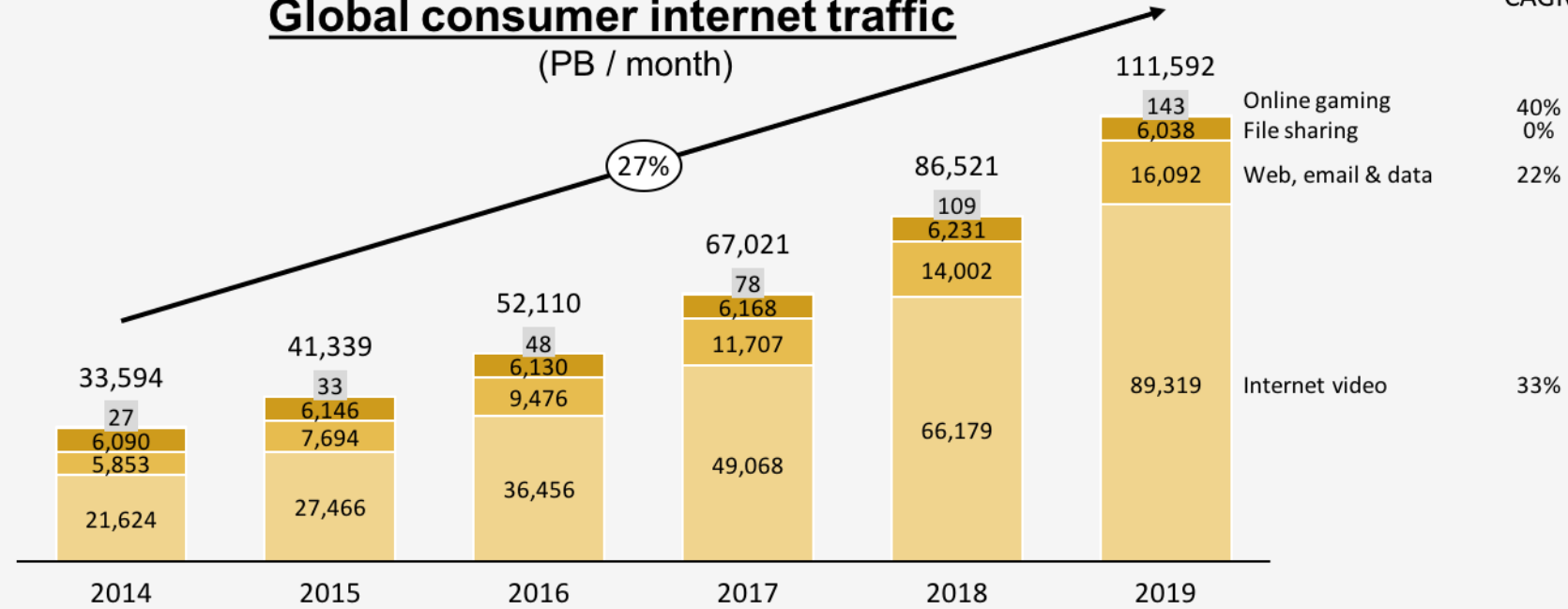
Source: Cisco VNI, 2018.

Global İnternet Grafiği

Global consumer internet traffic

(PB / month)

CAGR

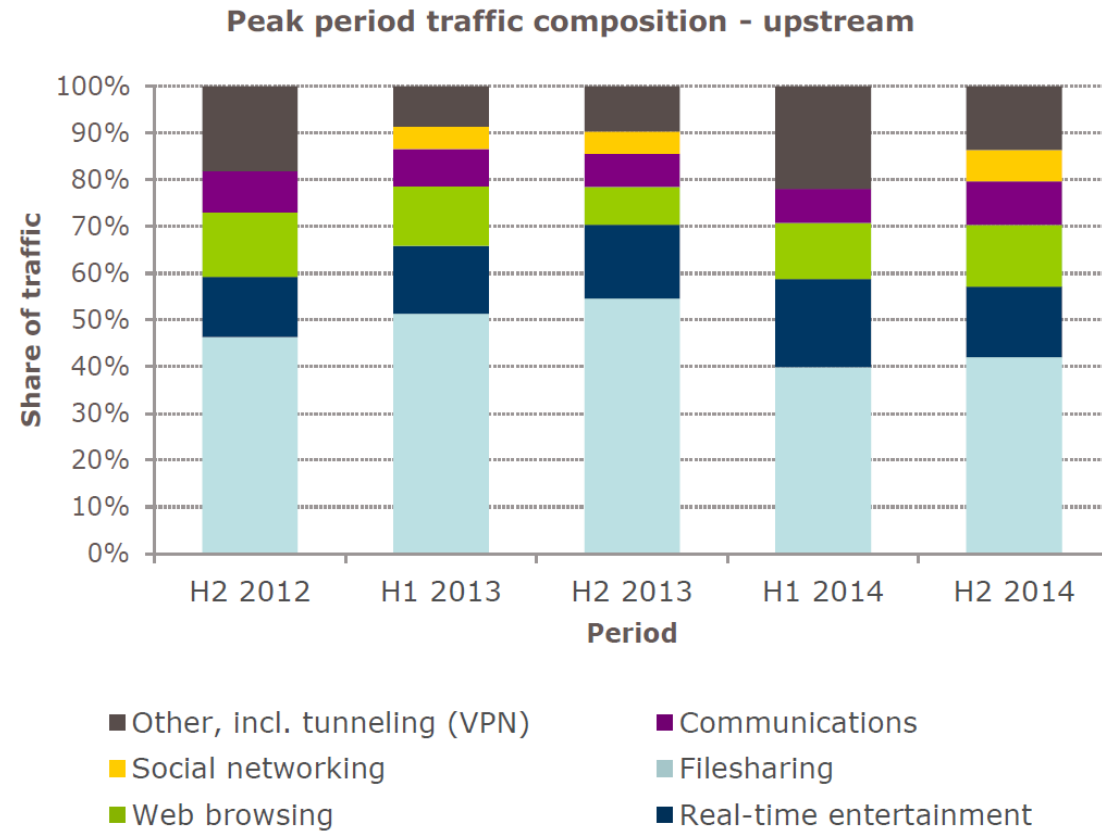


Source: Cisco VNI, 2015

Bayt Birimleri

Bayt Birimleri						
Yaygın örnek				İkilik örnek		
Ad	Sembol	Ondalık	İkilik	Ad	Sembol	İkilik
kilobayt	KB	10 ³	2 ¹⁰	kibibayt	KiB	2 ¹⁰
megabayt	MB	10 ⁶	2 ²⁰	mebibayt	MiB	2 ²⁰
gigabayt	GB	10 ⁹	2 ³⁰	gibibyte	GiB	2 ³⁰
terabayt	TB	10 ¹²	2 ⁴⁰	tebibayt	TiB	2 ⁴⁰
petabayt	PB	10 ¹⁵	2 ⁵⁰	pebibayt	PiB	2 ⁵⁰
eksabayt	EB	10 ¹⁸	2 ⁶⁰	eksbibayt	EiB	2 ⁶⁰
zettabayt	ZB	10 ²¹	2 ⁷⁰	zebibayt	ZiB	2 ⁷⁰
yottabayt	YB	10 ²⁴	2 ⁸⁰	yobibayt	YiB	2 ⁸⁰

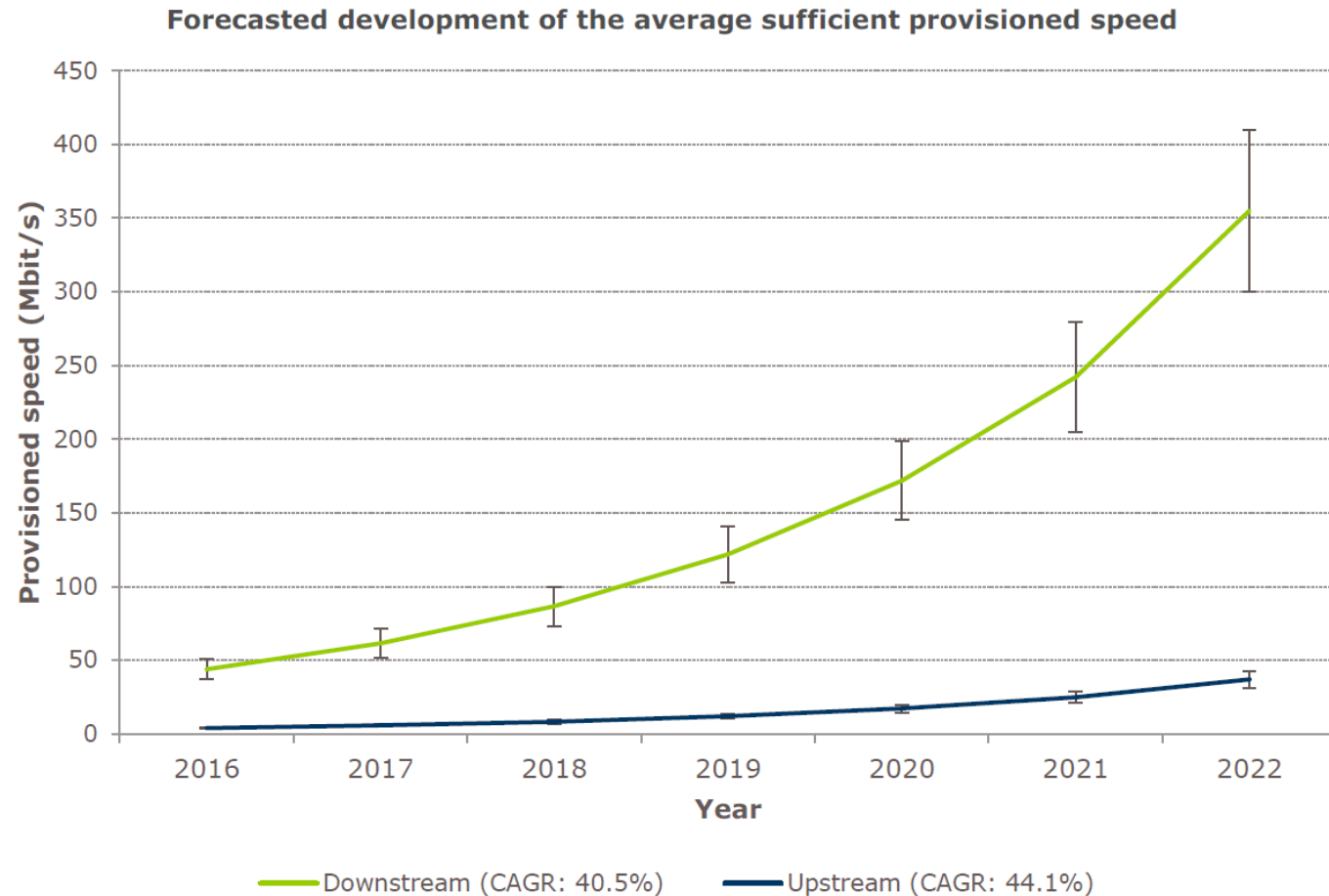
Upstream/Downstream



Upstream/Downstream

Rank	Upstream		Downstream		Aggregate	
	Application	Share	Application	Share	Application	Share
1	BitTorrent	36.35%	Netflix	31.62%	Netflix	28.18%
2	HTTP	6.03%	YouTube	18.69%	YouTube	16.78%
3	SSL	5.87%	HTTP	9.74%	HTTP	9.26%
4	Netflix	4.44%	BitTorrent	4.05%	BitTorrent	7.39%
5	YouTube	3.63%	iTunes	3.27%	iTunes	2.91%
6	Skype	2.76%	MPEG - Other	2.60%	SSL	2.54%
7	QVoD	2.55%	SSL	2.05%	MPEG - Other	2.32%
8	Facebook	1.54%	Amazon Video	1.61%	Amazon Video	1.48%
9	FaceTime	1.44%	Facebook	1.31%	Facebook	1.34%
10	Dropbox	1.39%	Hulu	1.29%	Hulu	1.15%
		66.00%		76.23%		73.35%

Upstream/Downstream



Geniş Alan Ağı – Taşıyıcı Ortamlar

Teknoloji	Hız	Güvenlik	Maliyet
PSTN (Dial-up)	56 Kbps	Düşük	Düşük
X.25	64 Kbps - 2.048 Mbps	Orta	Düşük
Frame Relay	45 Mbps	Orta	Orta
ISDN (BRI – PRI)	64 Kbps - 1.544 Mbps	Orta	Düşük
T1 – T3	64 Kbps - 45 Mbps	Orta	Orta
DSL	1.544 - 52 Mbps	Orta	Orta
Cable	10 - 36 Mbps	Orta	Orta
SONET	51 Mbps - 39 Gbps	Yüksek	High
ATM	155 Mbps – 622 Mbps	Yüksek	Orta
VPN	56 Kbps	Yüksek	Düşük

Broadband/Genişbant

Technology	Rate	Rate ex. overhead	Year
ADSL (G.lite)	1536/512 kbit/s	192/64 kB/s	1998
ADSL (G.dmt) ITU G.992.1	8192/1024 kbit/s	1024/128 kB/s	1999
ADSL2 ITU G.992.3	12288/1440 kbit/s	1536/180 kB/s	2002
ADSL2+ ITU G.992.5	24576/3584 kbit/s	3072/448 kB/s	2003
VDSL ITU G.993.1	52 Mbit/s	7 MB/s	2001
VDSL2 ITU G.993.2	100 Mbit/s	12.5 MB/s	2006
VDSL2 ITU G.993.2 Amendment 1 (11/15)	300 Mbit/s	37.5 MB/s	2015
BPON (G.983) fiber optic service	622/155 Mbit/s	77.7/19.3 MB/s	2005 ^[16]
G.fast ITU G.9700	1000 Mbit/s	125 MB/s	2014
EPON (802.3ah) fiber optic service	1000/1000 Mbit/s	125/125 MB/s	2008
DOCSIS 3.0 ^[17] (cable modem)	1216/216 Mbit/s	152/27 MB/s	2006
GPON (G.984) fiber optic service	2488/1244 Mbit/s	311/155.5 MB/s	2008 ^[18]
10G-PON (G.987) fiber optic service	10/2.5 Gbit/s	1.25/0.3125 GB/s	2012 ^[20]
XGS-PON (G.9807.1) fiber optic service	10/10 Gbit/s	1.25/1.25 GB/s	2016
DOCSIS 3.1 Full Duplex (cable modem)	10/10 Gbit/s	1.25/1.25 GB/s	2017
NG-PON2 (G.989) fiber optic service	40/10 Gbit/s	5/1.25 GB/s	2015 ^[21]

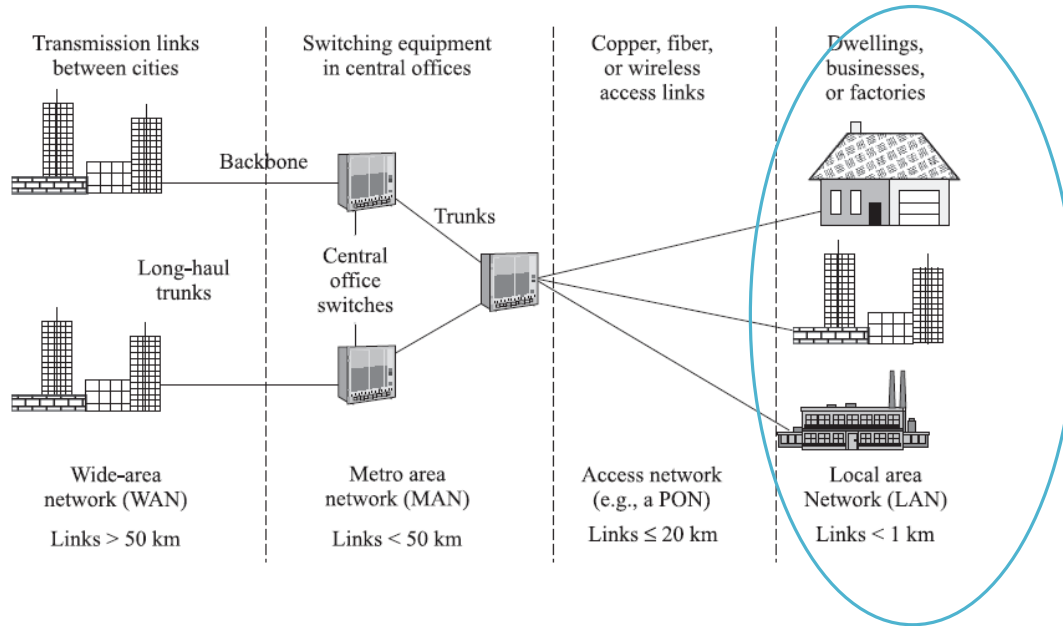
Mobil Ağlar (Hücresel)

Technology	Download rate		Upload rate	
<u>GSM CSD (2G)</u>	14.4 <u>kbit/s</u> ^[22]	1.8 <u>kB/s</u>	14.4 kbit/s	1.8 kB/s
<u>HSCSD</u>	57.6 kbit/s	5.4 kB/s	14.4 kbit/s	1.8 kB/s
<u>GPRS (2.5G)</u>	57.6 kbit/s	7.2 kB/s	28.8 kbit/s	3.6 kB/s
<u>WiDEN</u>	100 kbit/s	12.5 kB/s	100 kbit/s	12.5 kB/s
<u>CDMA2000 1×RTT</u>	153 kbit/s	18 kB/s	153 kbit/s	18 kB/s
<u>EDGE (2.75G)</u> (type 1 MS)	236.8 kbit/s	29.6 kB/s	236.8 kbit/s	29.6 kB/s
<u>UMTS 3G</u>	384 kbit/s	48 kB/s	384 kbit/s	48 kB/s
<u>EDGE</u> (type 2 MS)	473.6 kbit/s	59.2 kB/s	473.6 kbit/s	59.2 kB/s
<u>1×EV-DO rev. 0</u>	2457 kbit/s	307.2 kB/s	153 kbit/s	19 kB/s
<u>1×EV-DO rev. A</u>	3.1 Mbit/s	397 kB/s	1.8 Mbit/s	230 kB/s
<u>1×EV-DO rev. B</u>	14.7 Mbit/s	1837 kB/s	5.4 Mbit/s	675 kB/s
<u>HSPA (3.5G)</u>	13.98 Mbit/s	1706 kB/s	5.760 Mbit/s	720 kB/s
<u>4×EV-DO Enhancements</u> (2×2 MIMO)	34.4 Mbit/s	4.3 MB/s	12.4 Mbit/s	1.55 MB/s
<u>HSPA+</u> (2×2 MIMO)	42 Mbit/s	5.25 MB/s	11.5 Mbit/s	1.437 MB/s
<u>15×EV-DO rev. B</u>	73.5 Mbit/s	9.2 MB/s	27 Mbit/s	3.375 MB/s
<u>UMB</u> (2×2 MIMO)	140 Mbit/s	17.5 MB/s	34 Mbit/s	4.250 MB/s
<u>LTE</u> (2×2 MIMO)	173 Mbit/s	21.625 MB/s	58 Mbit/s	7.25 MB/s
<u>UMB</u> (4×4 MIMO)	280 Mbit/s	35 MB/s	68 Mbit/s	8.5 MB/s
<u>EV-DO rev. C</u>	280 Mbit/s	35 MB/s	75 Mbit/s	9 MB/s
<u>LTE</u> (4×4 MIMO)	326 <u>Mbit/s</u>	40.750 <u>MB/s</u>	86 Mbit/s	10.750 MB/s

Kablosuz Ağlar

Standard	Rate		Year
Classic WaveLAN	2 Mbit/s	250 kB/s	1988
IEEE 802.11	2 Mbit/s	250 kB/s	1997
RONJA (full duplex)	10 Mbit/s	1.25 MB/s	2001
IEEE 802.11a	54 Mbit/s	6.75 MB/s	1999
IEEE 802.11b	11 Mbit/s	1.375 MB/s	1999
IEEE 802.11g	54 Mbit/s	6.75 MB/s	2003
IEEE 802.16 (WiMAX)	70 Mbit/s	8.75 MB/s	2004
IEEE 802.11g with Super G by Atheros	108 Mbit/s	13.5 MB/s	2003
IEEE 802.11g with 125 High Speed Mode by Broadcom	125 Mbit/s	15.625 MB/s	2003
IEEE 802.11n (aka Wi-Fi 4)	600 Mbit/s	75 MB/s	2009
IEEE 802.11ac (aka Wi-Fi 5)	6.8–6.93 Gbit/s	850–866.25 MB/s	2012
IEEE 802.11ad	7.14–7.2 Gbit/s	892.5–900 MB/s	2011
IEEE 802.11ax (aka Wi-Fi 6)	11 Gbit/s	1375 MB/s	2019

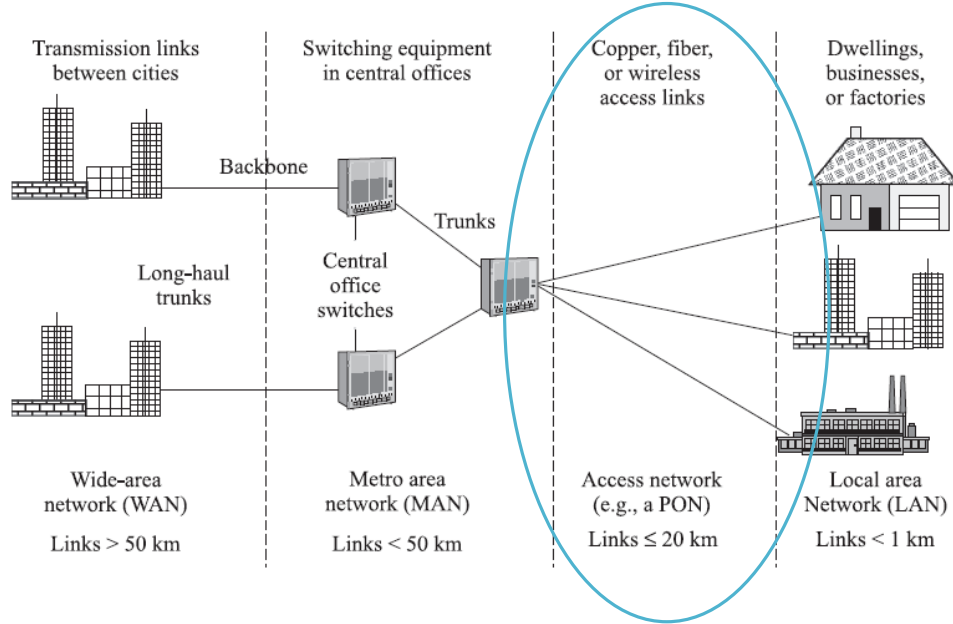
Son kullanıcı



❑ Son kullanıcılar :

❑ Laptoplar, Telefonlar, IoT vb. akıllı cihazlar farklı ortamlardan (WiFi, Ethernet, Hücresel ağ) internete bağlanabilmektedir.

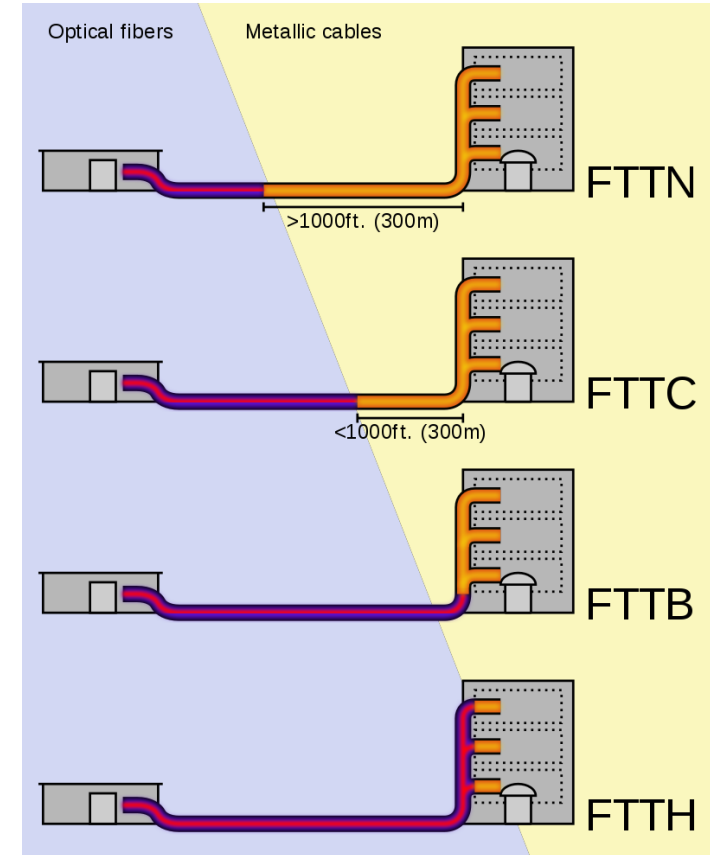
Erişim Ağı



- Erişim Ağı (<20 km), Birkaç km
- Bir erişim ağı, merkezi bir anahtarlama tesisinden bireysel işletmelere, kurumlara ve evlere uzanan bağlantıları kapsar.
- Kullanıcılar yüksek bantgenişliği talep ediyor. Ama mevcut teknolojiler (WiFi, DSL, ADSL, Ethernet, Hücresel ađ) yavaş
- PON (Passive Optical Networks) –FTTx

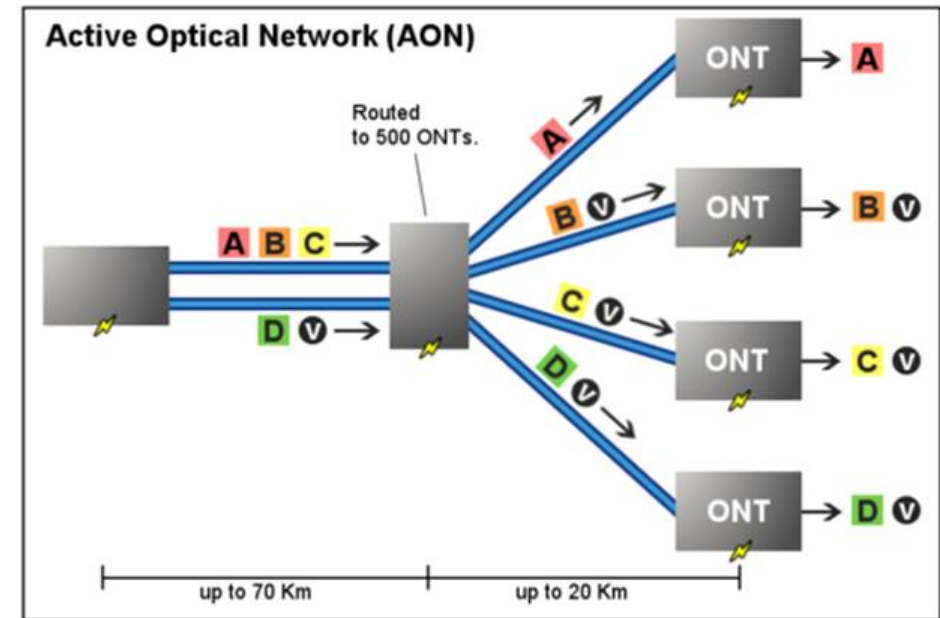
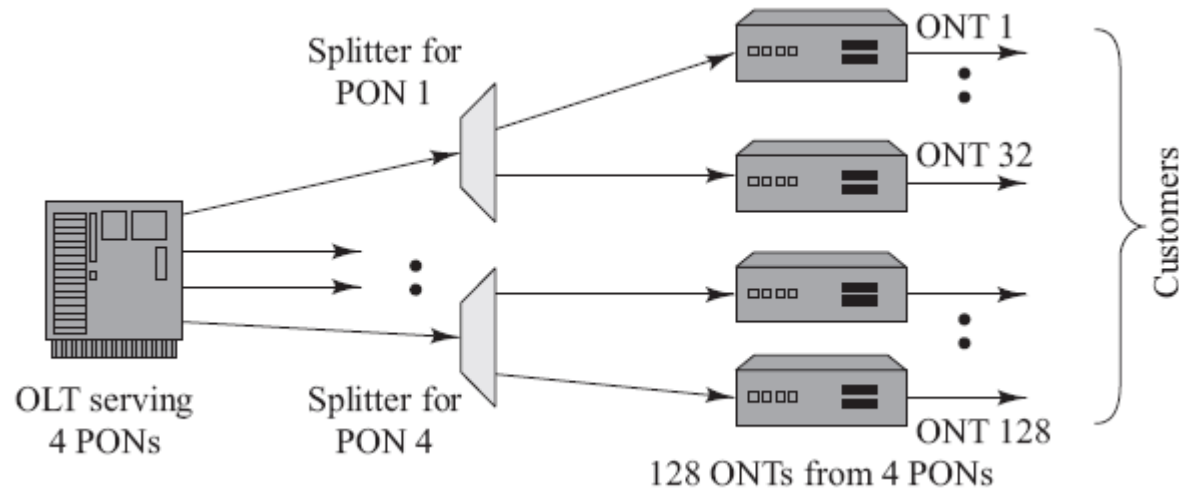
Erişim Ağı

- ❑ **FTTx** (Fiber to the x)
- ❑ **FTTH** (fiber-to-the-home):
- ❑ **FTTB** (fiber-to-the-building, -business, or -basement):
- ❑ **FTTC / FTTK** (fiber-to-the-curb/kerb, -closet, or -cabinet):
- ❑ **FTTN / FTTLA** (fiber-to-the-node, -neighborhood):



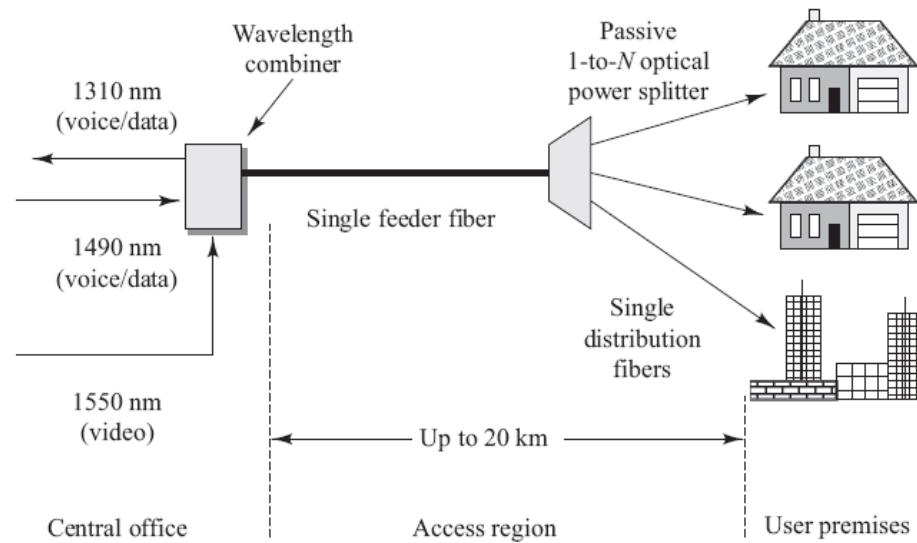
Active optical network

- ❑ AON'lar, bir anahtar veya yönlendirici gibi bir sinyali dağıtmak için elektrikle çalışan ağ ekipmanına dayanır.
- ❑ Normal olarak, sinyaller, AON'in bir optik-elektriksel (optik dönüşüm) gerekir.



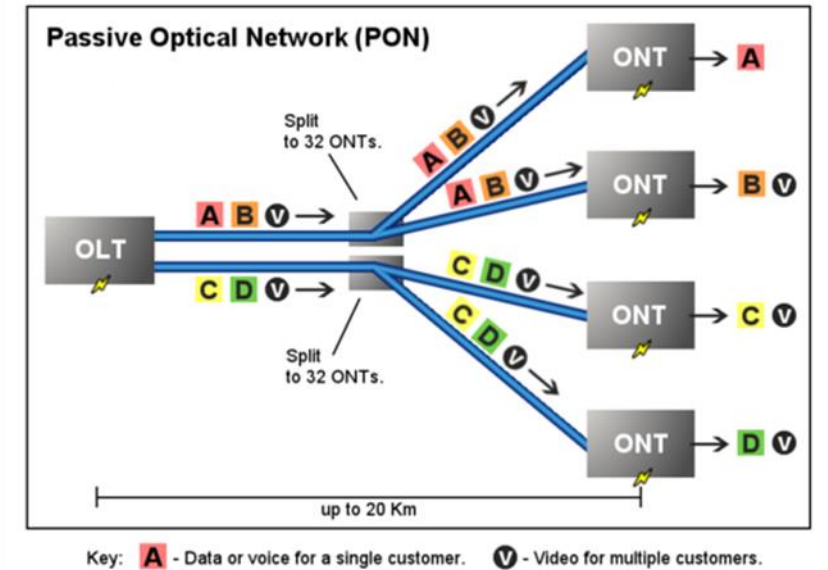
Passive optical network (PON)

Pasif bir optik ağı (PON), tek bir optik fiberin 128 müşteriye hizmet vermesini sağlamak için güçsüz optik ayırıcıların kullanıldığı, çok noktadan çok noktalı bir FTTP ağı mimarisidir.



Pasif Optik Ağlar (PON)

- ❑ ONT bir ITU-T terimidir, buna karşılık ONU IEEE terimidir.
- ❑ ONT, fiber optik ışık sinyallerini elektrik sinyallerine dönüştürür
(Fiber optik hattın sonlandığı düğüm)
- ❑ OLT'den gelen sinyalleri bileşen parçalarına (voice telephone, TV, Internet erişimi) demultiplex (ayırıştırma) gerçekleştirir.

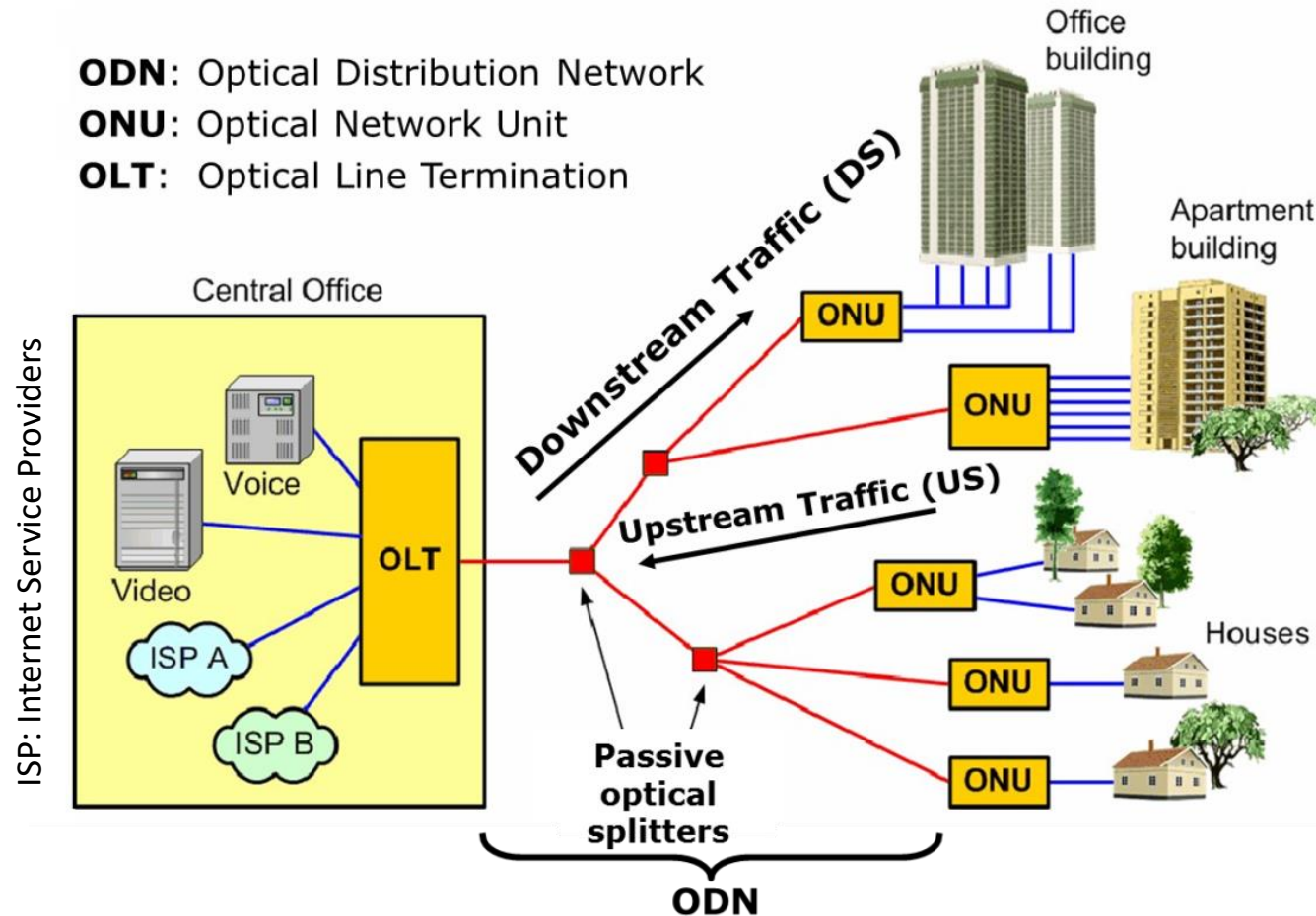


PON

ODN: Optical Distribution Network

ONU: Optical Network Unit

OLT: Optical Line Termination



Ayırıcı (Splitter):
Güç gerektirmiyor.
Ama güç kaybı oluyor

ONT (Optical Network Terminal)

ONU (Optical Network Units)

- ❑ ONT bir ITU-T terimidir, buna karşılık ONU IEEE terimidir.
- ✓ ONT (Optik Ağ Terminali), ONU (Optik Ağ Birimi)
- ❑ ONT, fiber optik ışık sinyallerini elektrik sinyallerine dönüştürür.
- ❑ OLT'den gelen sinyalleri bileşen parçalarına (voice telephone, TV,Internet access) demultiplex (ayrıştırma) gerçekleştirir. Bu elektrik sinyalleri daha sonra bireysel abonelere gönderilir.
- ❑ Fiber optik hattın sonlandığı düğüm
- ❑ Ayrıca, ONU, kullanıcılardan gelen farklı veri türlerini gönderebilir, toplayabilir ve damgalayabilir ve OLT'ye geri gönderebilir.

Optical Line Terminal/Termination (OLT)

- ❑ Telekom ofisinin içerisinde bulunur. iki temel görevi vardır.
- 1. Kullanıcılardan topladığı verileri Metro ağına iletir (Metro ağından gelenleri de erişim ağına iletir). Erişim ağı ile Metro ağı arasındadır.
 - Servis sağlayıcının ekipmanı tarafından kullanılan elektrik sinyalleri ile pasif optik ağ tarafından kullanılan fiber optik sinyaller arasında dönüştürme yapmak
- 2. PON ağın uç düğümündeki (ONU)' lar arasındaki çoklamayı koordine etmek.
- ❑ Kullanıcılara 1490 nanometrede (nm) veri sinyali iletebilir. Bu sinyal, optik ayırıcılar kullanarak 12.5 mil mesafeye kadar 128 ONT'ye kadar hizmet verebilir.
- ❑ Bileşenleri ; Merkezi işlem birimi (CPU), passive optical network cards, gateway router (GWR), voice gateway (VGW) uplink cards..

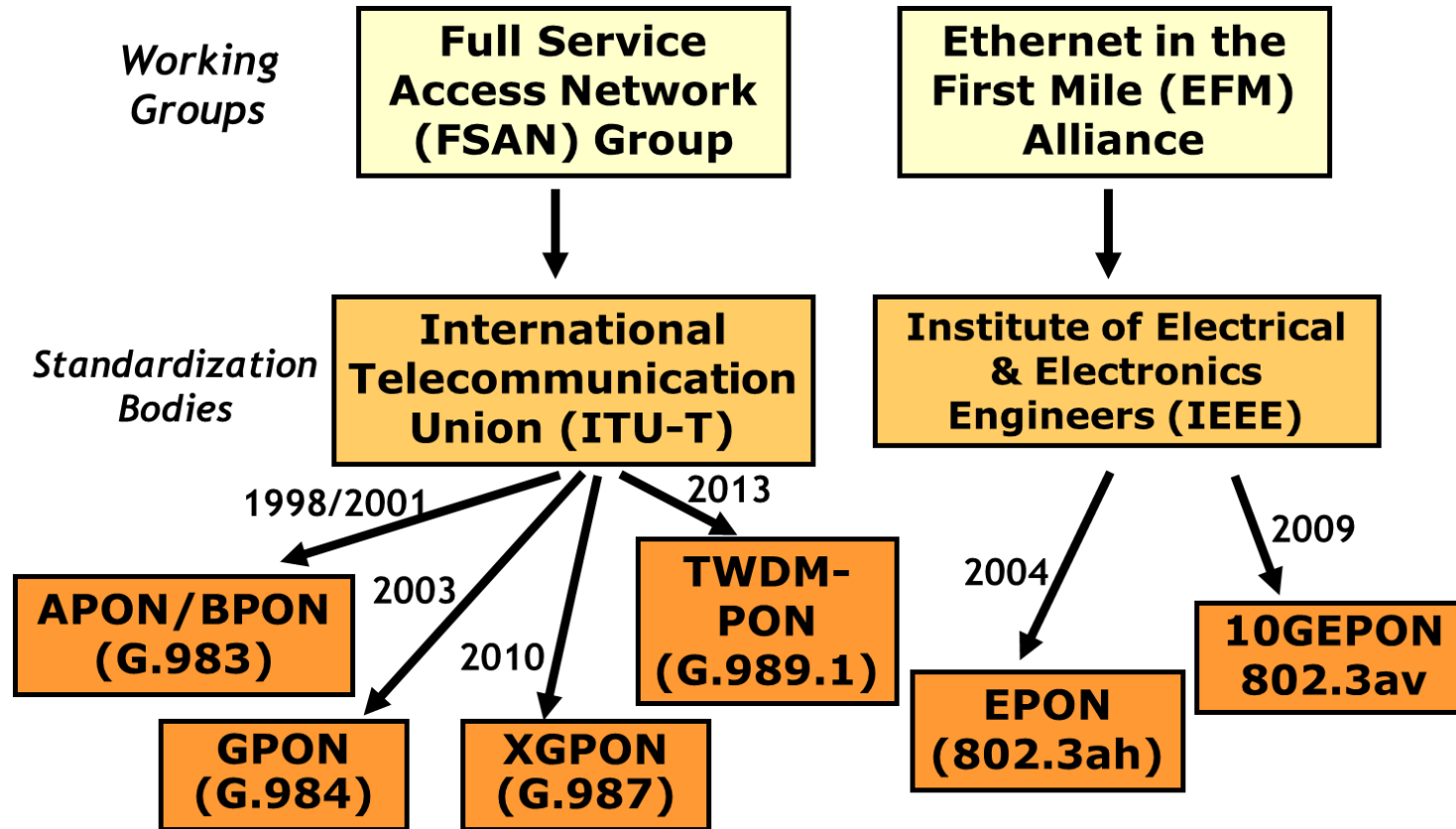
ODN (Optik Dağıtım Ağı/ Optical Distribution Network)

- ❑ PON sisteminin ayrılmaz bir parçası olan ODN, ONU'ların OLT'lerle fiziksel bağlantısı için optik iletim ortamı sağlar.
- ❑ Ulaşımı 20 km veya daha fazladır.
- ❑ ODN, dağıtım fiberlerinden ve tüm optik optik dağıtım elemanlarından (özellikle de optik ayırıcılardan ve / veya dalga boyu seçici elemanlardan (WDM filtreleri)) oluşur.

PON

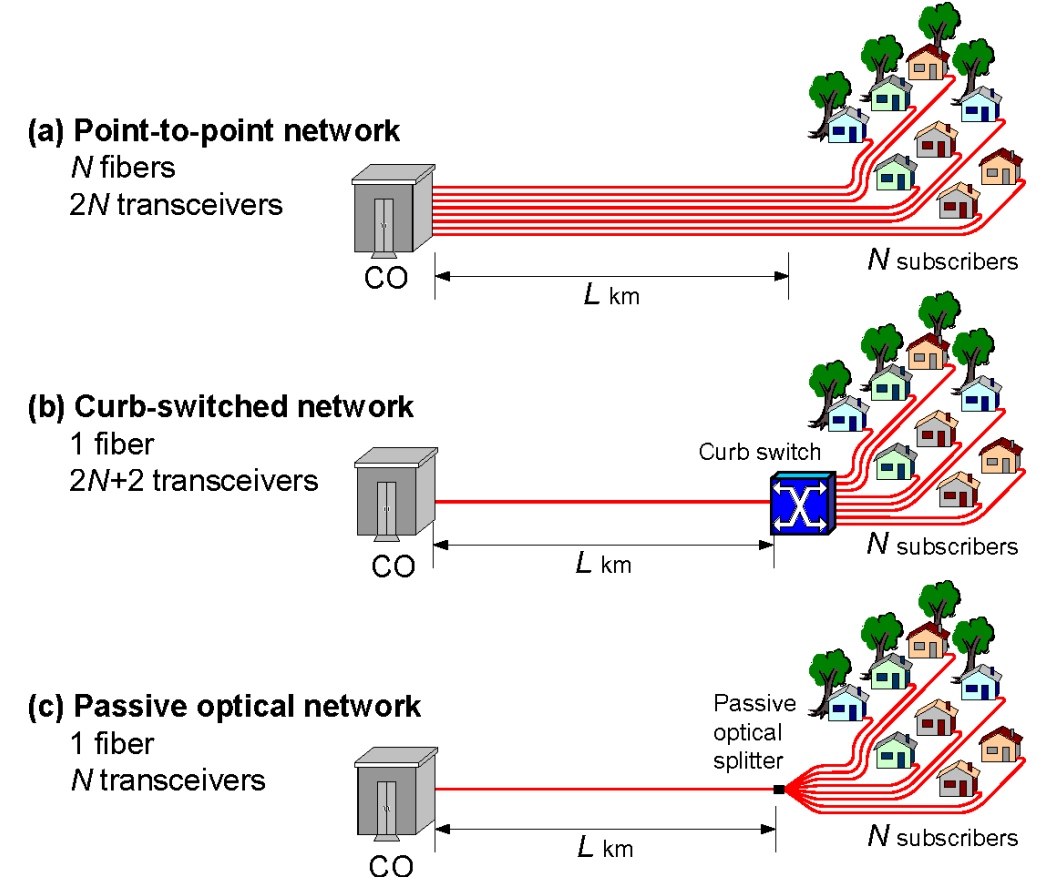
- ❑ Uzun erişim: 0-20 km
- ❑ Fiber yapılar uzun yaşam süreleri vardır (~20 yıl)
- ❑ Yeni ekipmanlar yerleştirmeden (yani yerin altından fiberleri çıkarmadan) yeni teknolojilere uyumlu olmalı ve ölçeklenebilmelidir.
- ❑ Kısa mesafeli kablosuz ağları, uzun mesafe erişim avantajını kullanarak rahatlatılabilir
- ❑ PON (FTTx): PON' da sadece arada splitter var. Güç gerektirmiyor.
- ❑ Ethernet PON (EPON): Genelde kullanılan teknoloji..
- ❑ Çeşitleri: APON (ATM PON), BPON (Broadband PON-Genişbant), GPON(Gigabit PON), WDM PON

PON standards

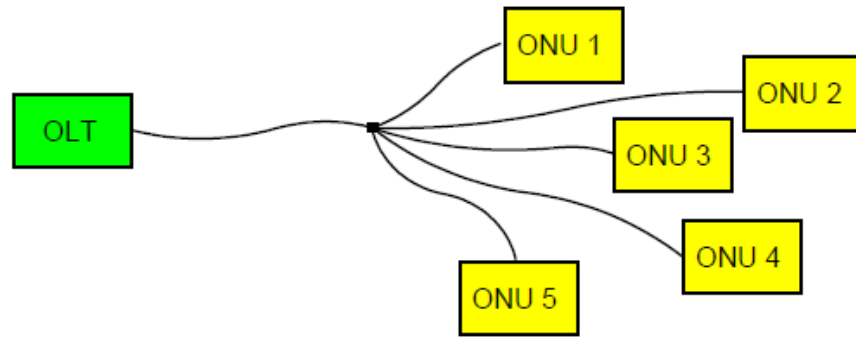


PON

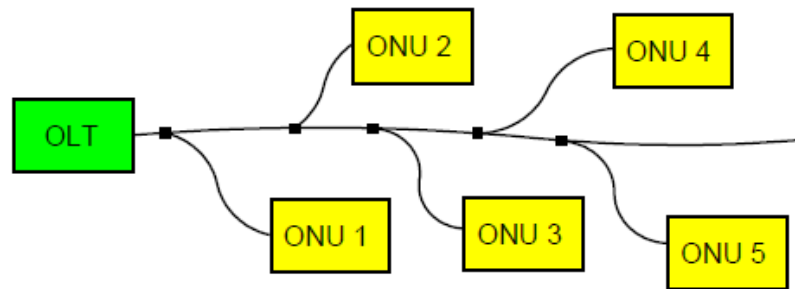
- ❑ Noktadan-noktaya bağlantılar
 - ❑ N fiber hattı
 - ❑ 2N transceiver (alıcı/verici)
- ❑ Mahallede toplama anahtarı
 - ❑ 1 fiber hat
 - ❑ Elektrik gücü gerektiriyor
 - ❑ 2N+ 2 transceivers
- ❑ PON –bir dağıtımlı anahtar
 - ❑ 1 fiber hat
 - ❑ N + 1 transceivers
 - ❑ Yol saydamlığı (Kime hangi bilgi gidiyor belli değil.)
 - ❑ Bütün dalgaboyları hepsine gidiyor. Alıcı filtreliyor.



PON Topolojileri



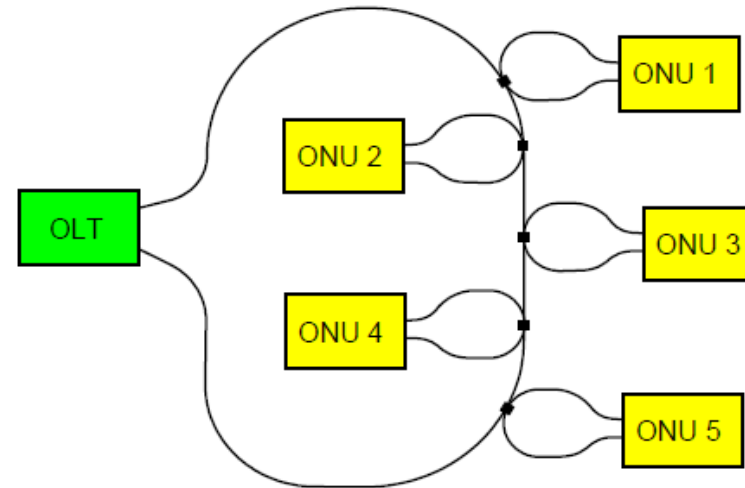
(a) Ağaç topolojisi



(b) Bus topoloji

OLT – Optik Hat Terminali

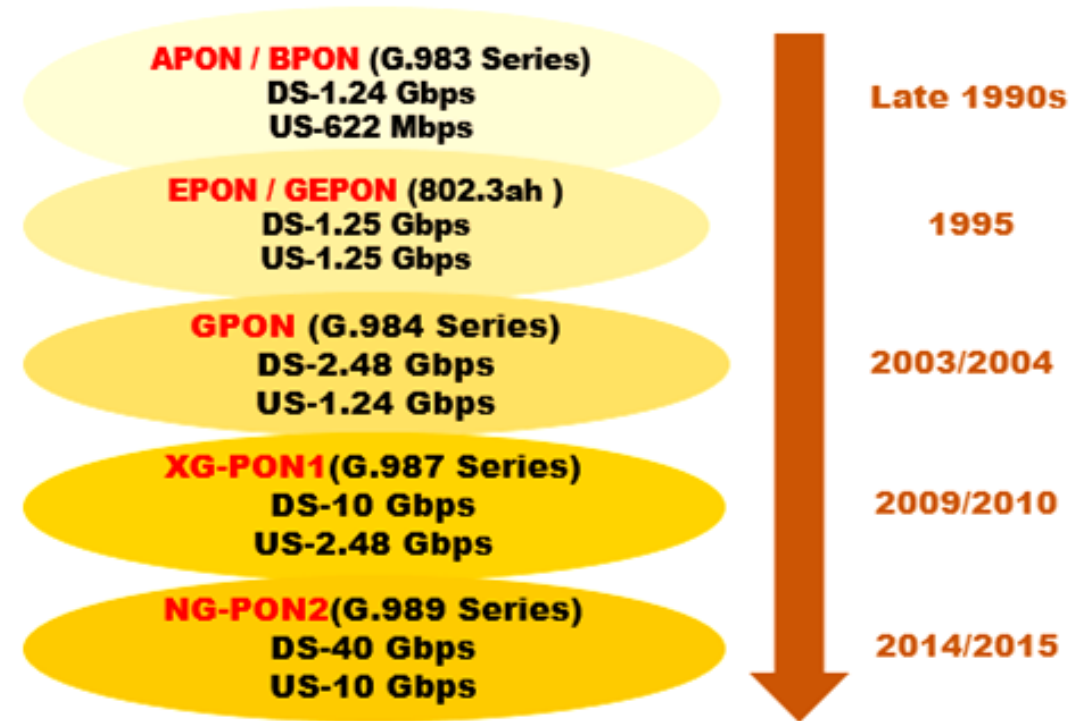
ONU – Optik Ağ Ünitesi



(c) Halka topology

PON Tipleri

- ❑ APON (ATM Passive Optical Networks)
- ❑ BPON (Broadband PON)
- ❑ Ethernet PON (E-PON)
- ❑ GPON (Gigabit Ethernet PON)
- ❑ WDM-PON
- ❑ TDM-PON



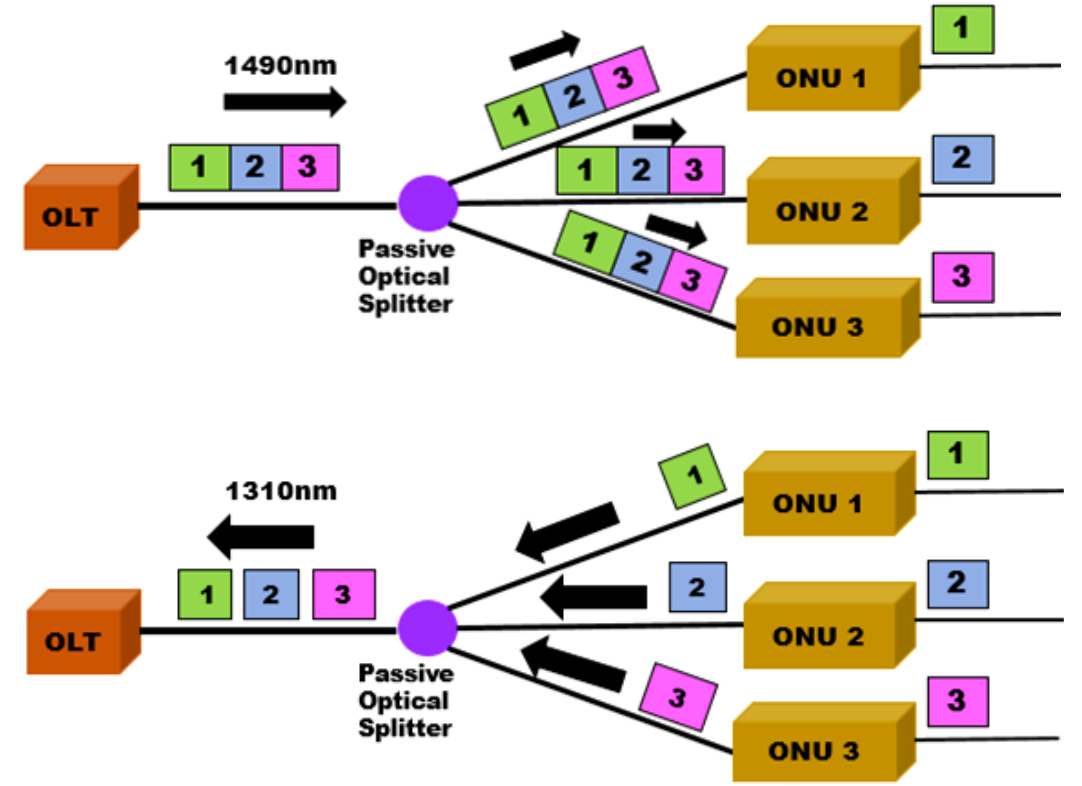
PON

❑ Geleneksel olmayan bağlantırlılığa sahip bir ağ yapısı

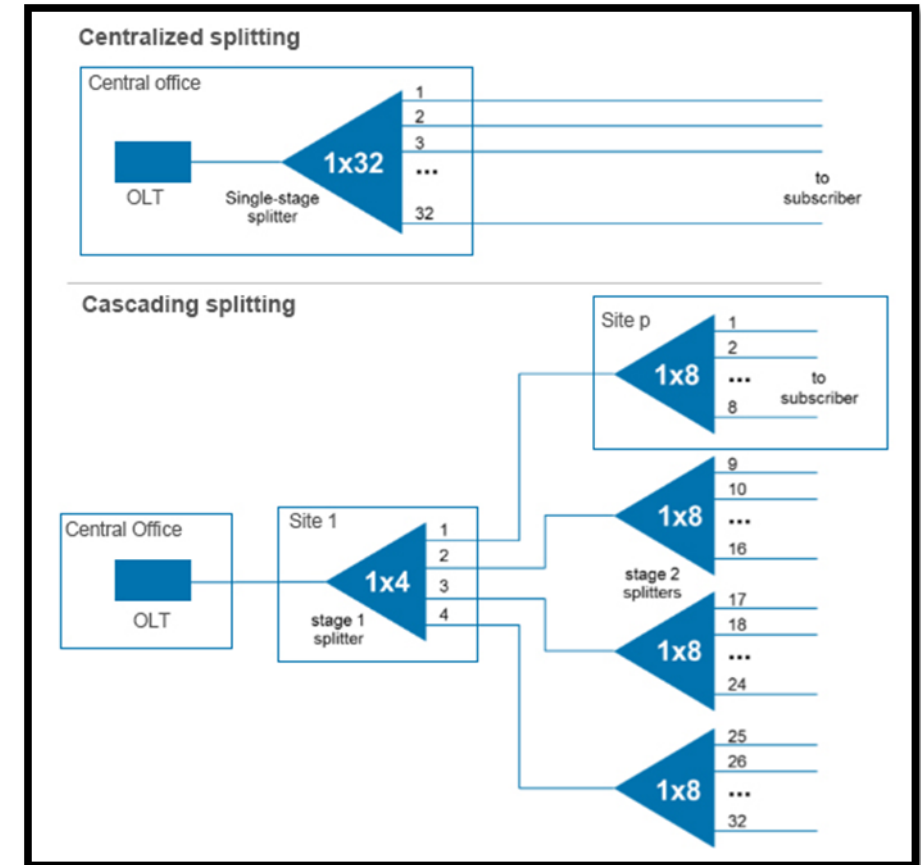
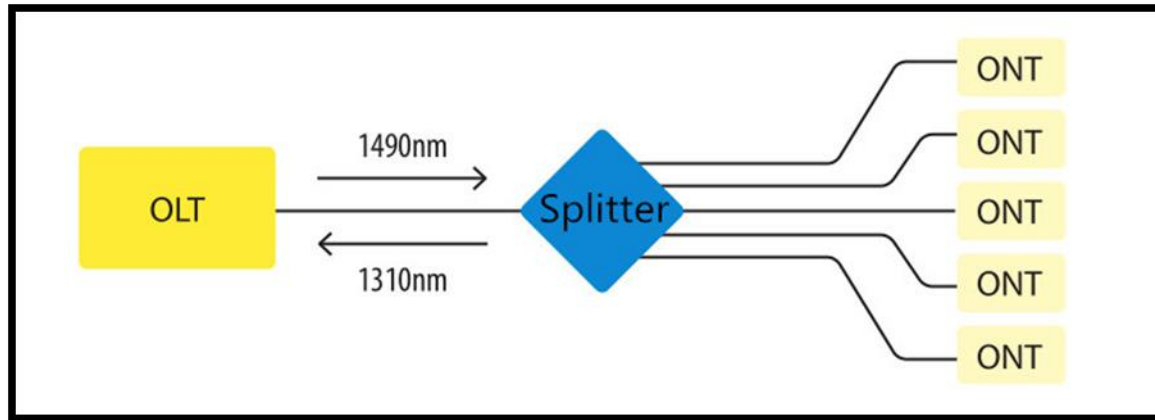
❑ Downstream: broadcast

❑ Upstream: Noktadan-noktaya, fakat çarpışma mümkün

❑ Upstream kanalları ayrılmalı. Nasıl?

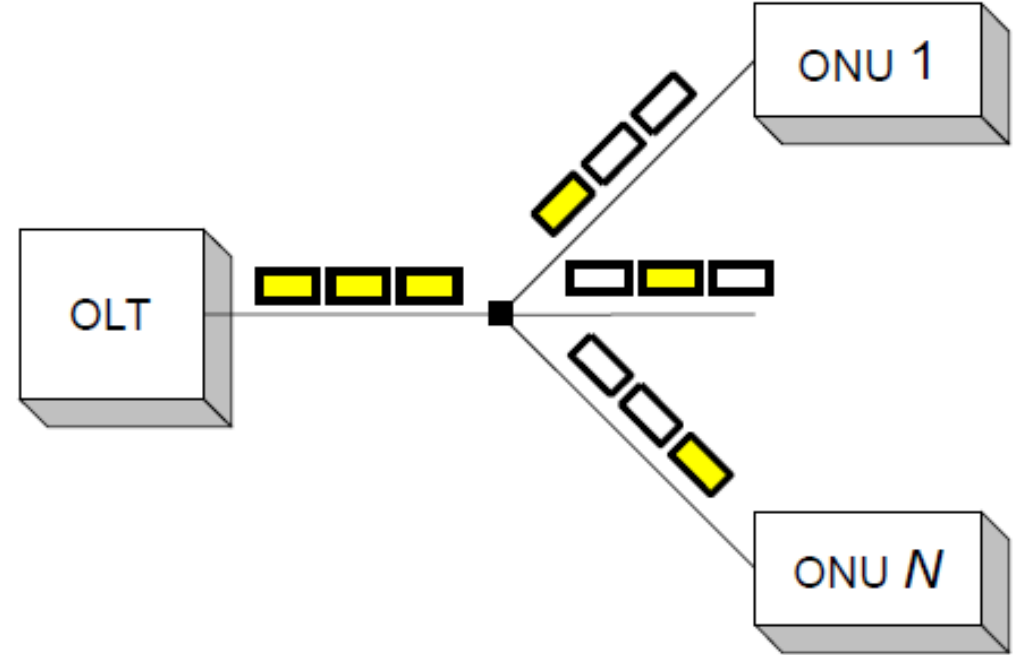


PON



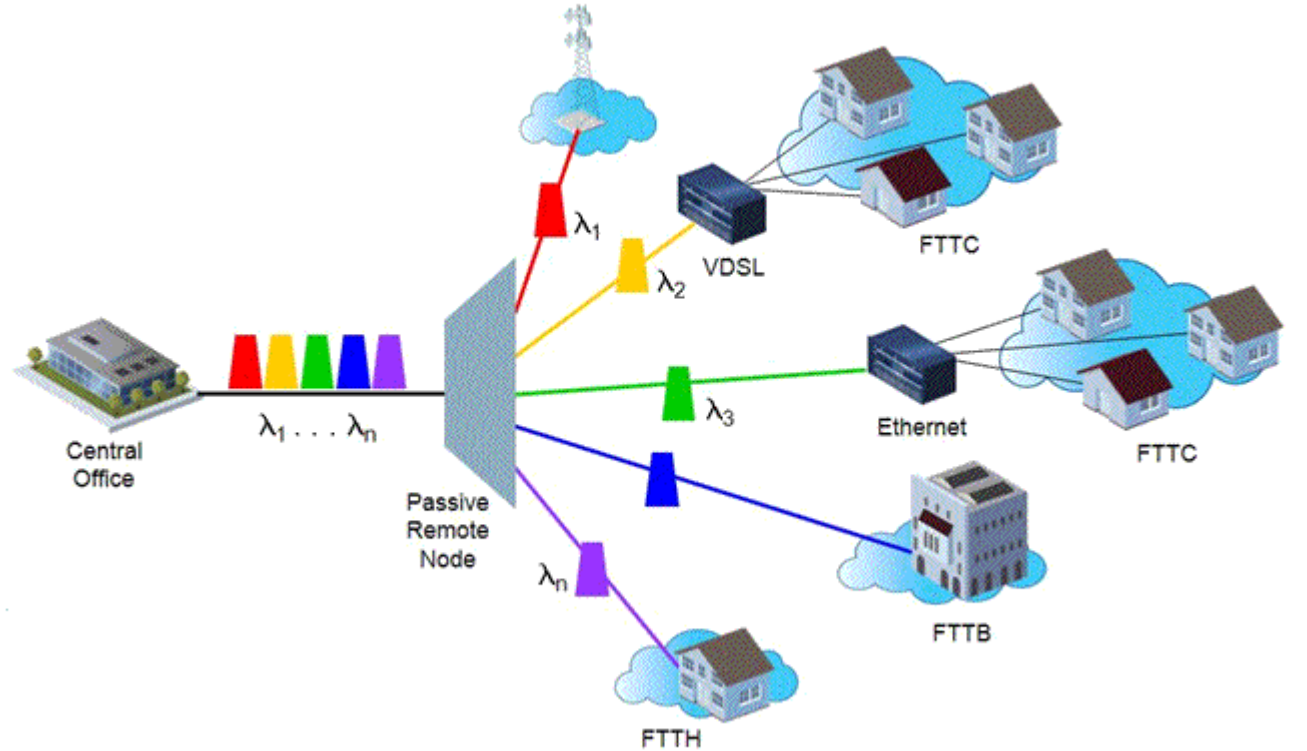
TDM-PON

- ❑ Alıcı ve elektronik ekipmanlar yüksek hızda çalışırlar
- ❑ Zaman senkronizasyonu gerekiyor. Dinamik yapıya sahip değil.
- ❑ Her düğüm sırasını bekliyor (Diğerlerinin paketi olmasada)



WDM-PON

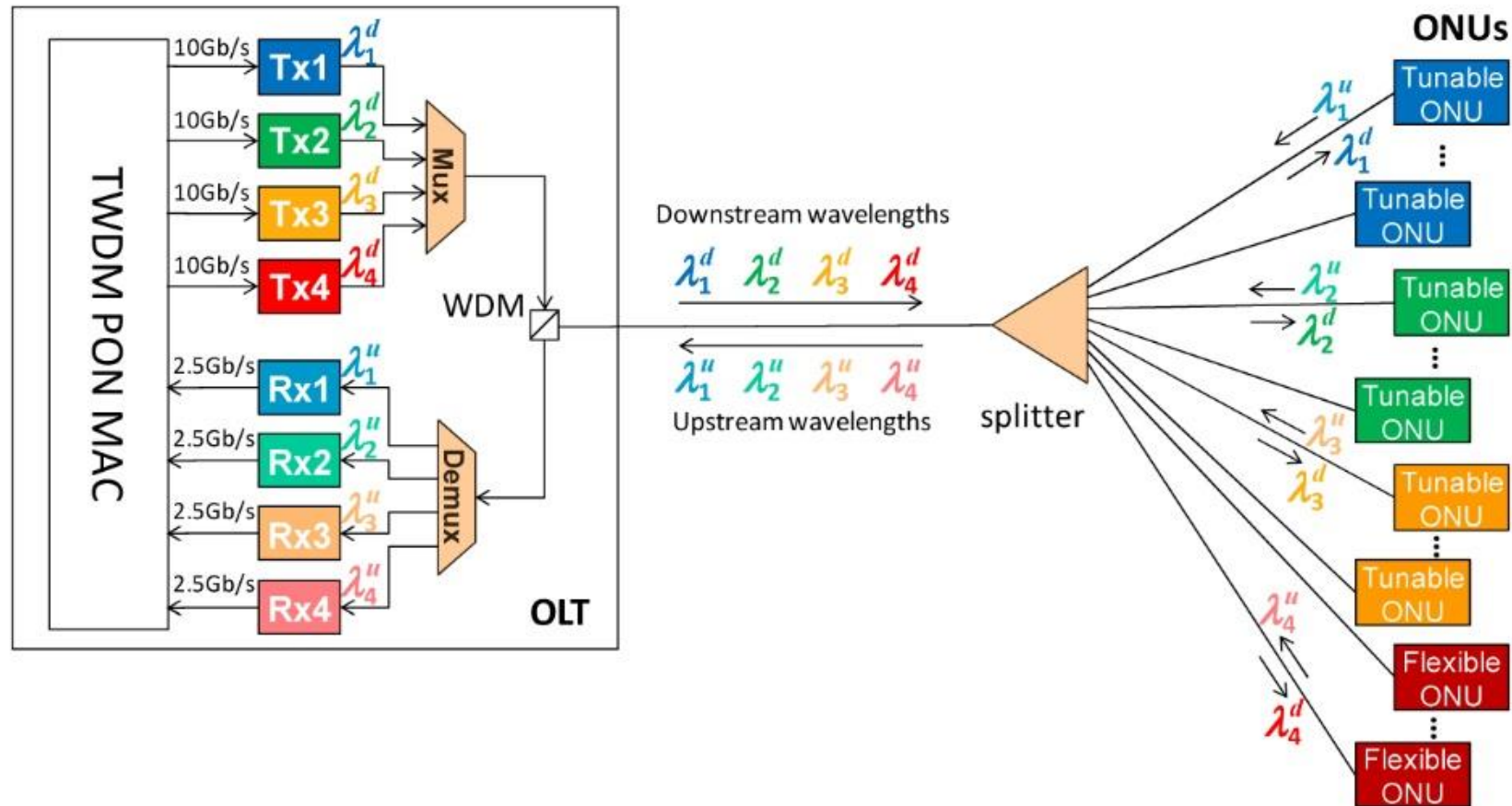
- ❑ Her ONU farklı bir dalgaboyuna sahip olmalı
- ❑ OLT, bu durumda bir alıcı dizesine (bütün dalga boylarını filtrelemek için) sahip olmalı
- ❑ Pahalı



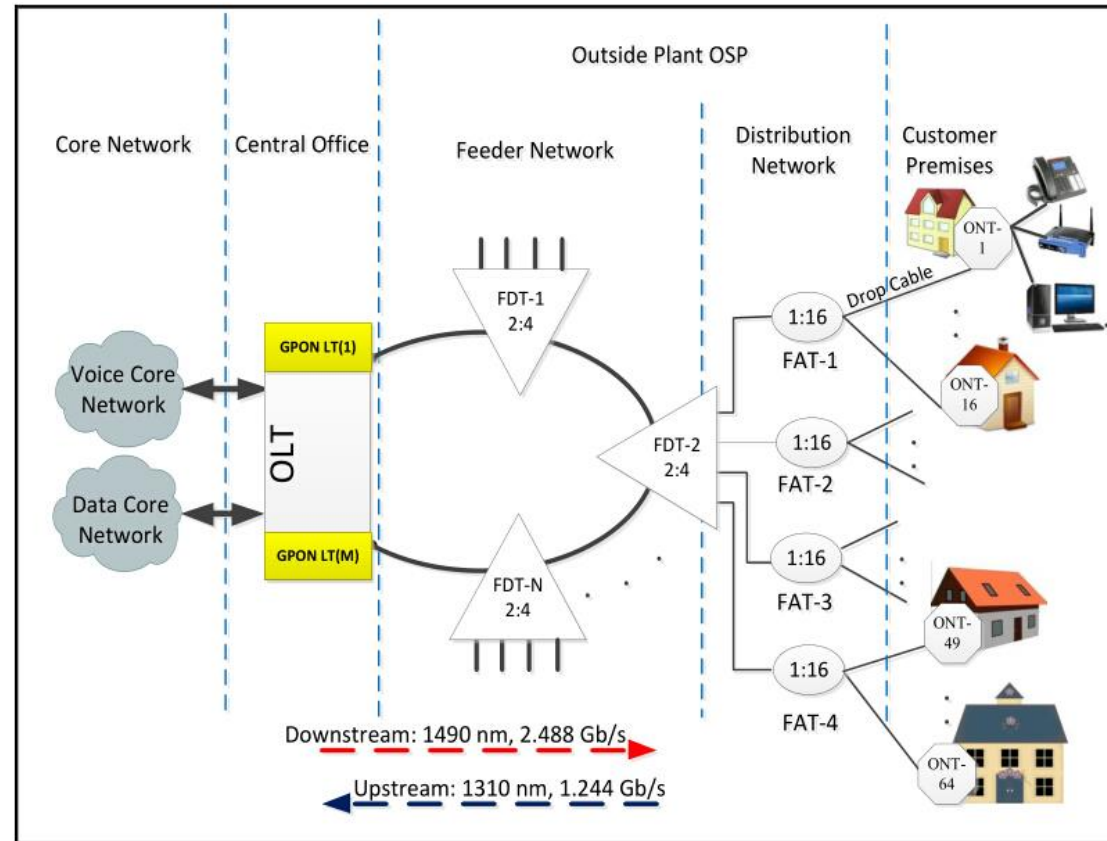
TWDM / NG-PON2 (Next-Generation Passive Optical Network 2)

- ❑ Dalgaboyu bölmeli çoklama, downstream yönünde OLT lazerlerinden gelen dalga boylarını çoklayıcı (Multiplexer) ile birleştirilerek aşağı yönde gönderir.
- ❑ Işık sinyali daha sonra her bir ONU'da, yalnızca istenen dalga boyunu alıcısına geçiren aktif olarak ayarlanabilen bir filtre ile filtrelenir.
- ❑ Upstream yönünde, her ONU'daki ayarlanabilir lazerler dinamik olarak bir dalga boyuna atanır. Tüm ONU'lardan elde edilen fiberler pasif bir mux/ayırıcı ile birleştirilmiştir.
- ❑ Zaman bölmeli çoğullama, her bir ONU'da patlama/burst lazerleri kullanılarak upstream yönünde sağlanır. (Aynı dalgaboyuna sahip sinyaller için)

TWDM / NG-PON2 (Next-Generation Passive Optical Network 2)

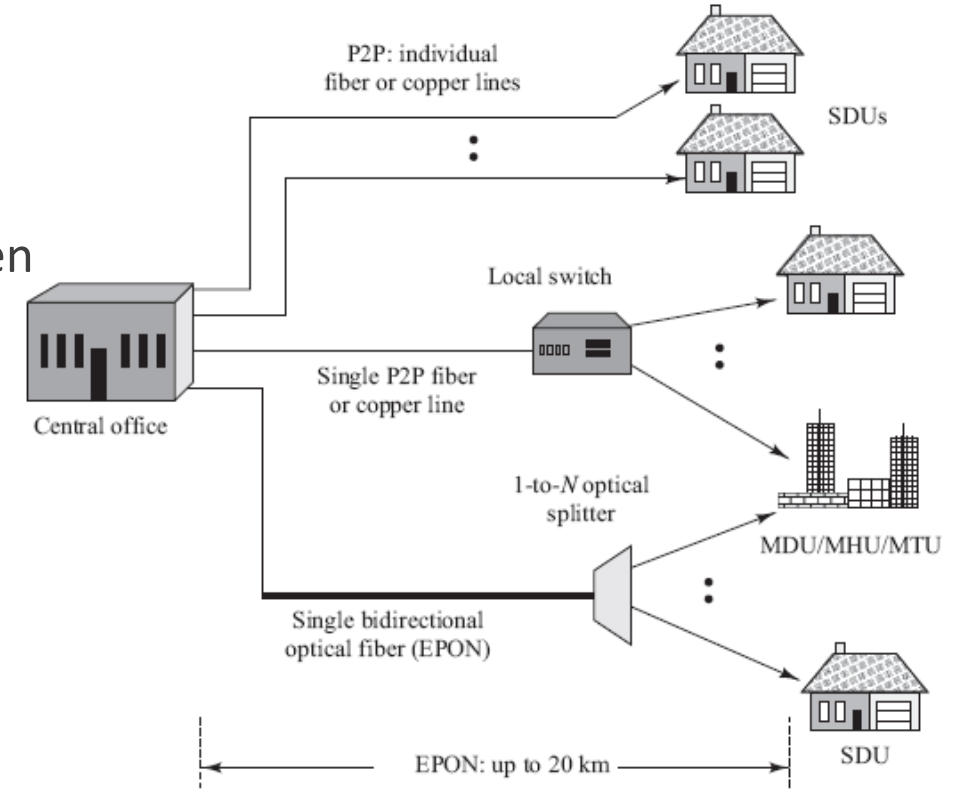


GPON



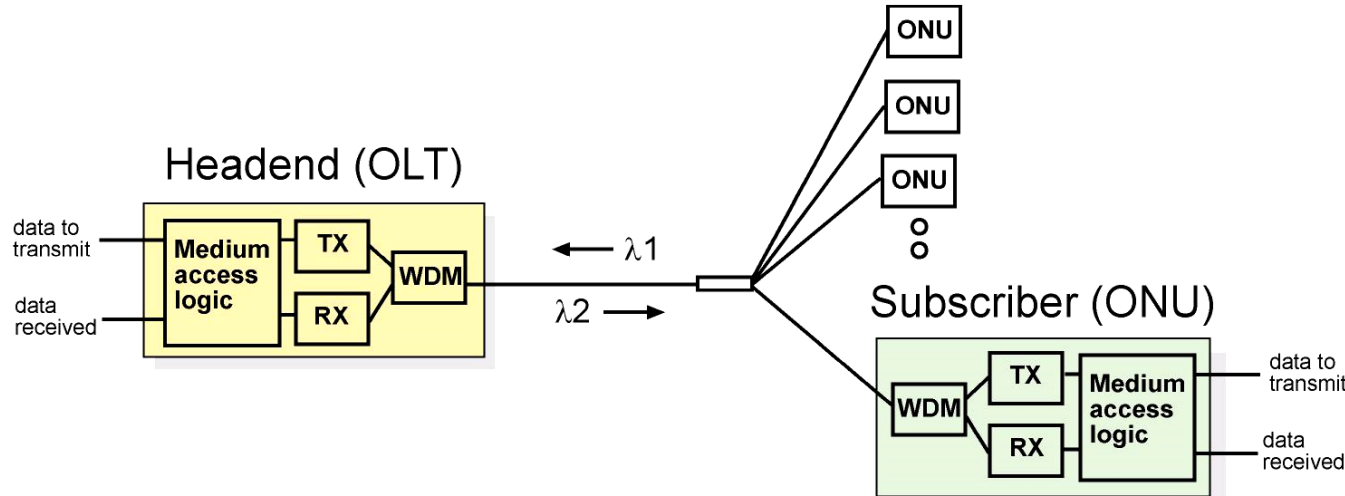
EPON

- ❑ EPON tek bir fiber kullanır (yerleştirme ve bakım/onarım maliyetleri az)
- ❑ Downstream ve upstream yolları WDM kullanılarak ayrılmışlardır.
- ❑ ONU sadece OLT'den gelen trafiği görür, birbirlerinden gelen trafiği görmezler.
- ❑ Tek bir seferde yalnızca bir ONU upstream kanalına iletim yapabilir.

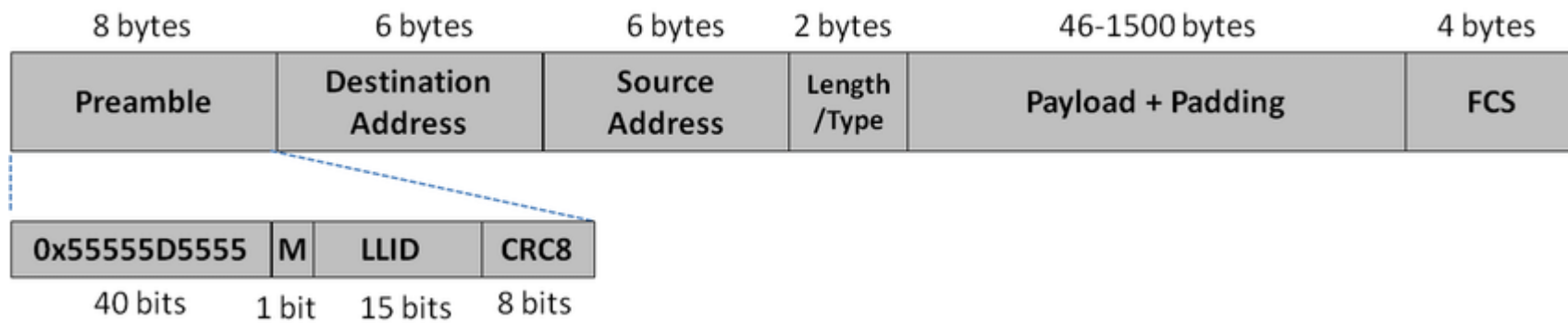


EPON

- ❑ IEEE 802.3 frame formatını kullanır. Mevcut MAC protokollerini kullanır (mevcut Ethernet'i EPON haline getirmek kolaydır).
- ❑ EPON, şifreleme için advanced encryption standard (AES) tabanlı mekanizma kullanır
- ❑ Standart 802.3 hat hızında (1Gbps) çalışır.
- ❑ Dünya çapında 1 milyara yakın Ethernet portu kurulmuştur (Tüm anahtar portlarının yaklaşık %95'i)

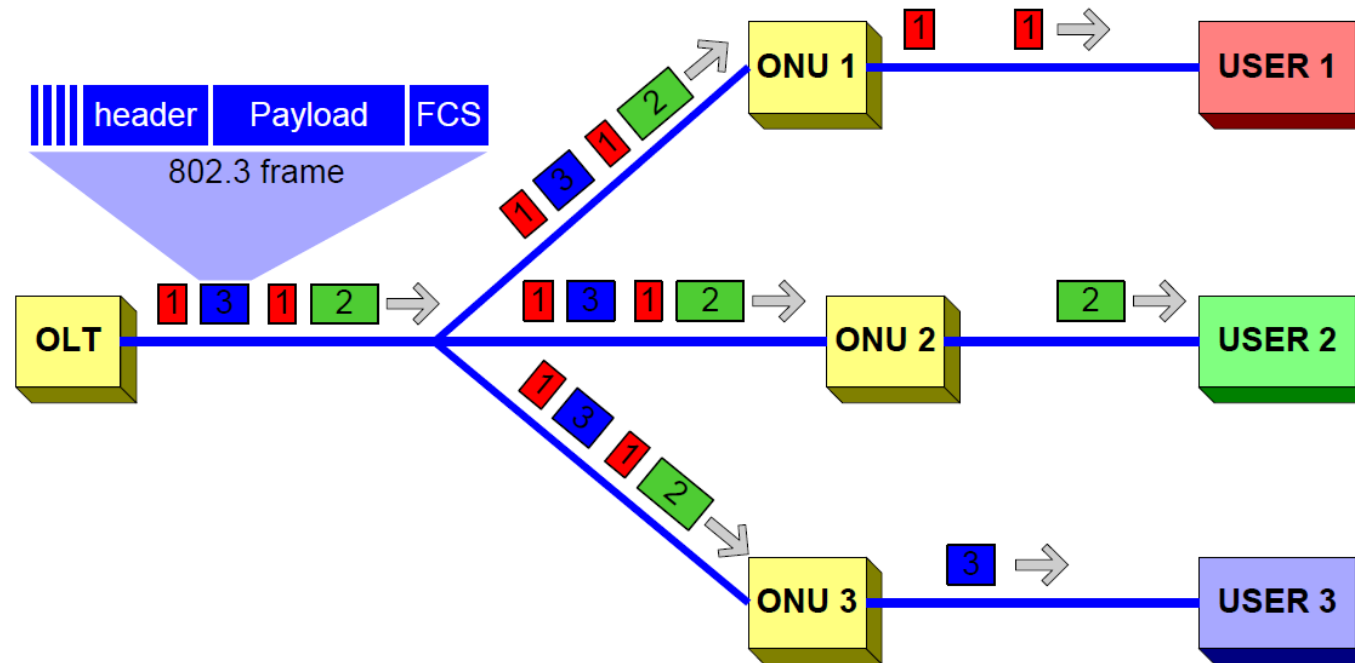


IEEE 802.3ah frame format



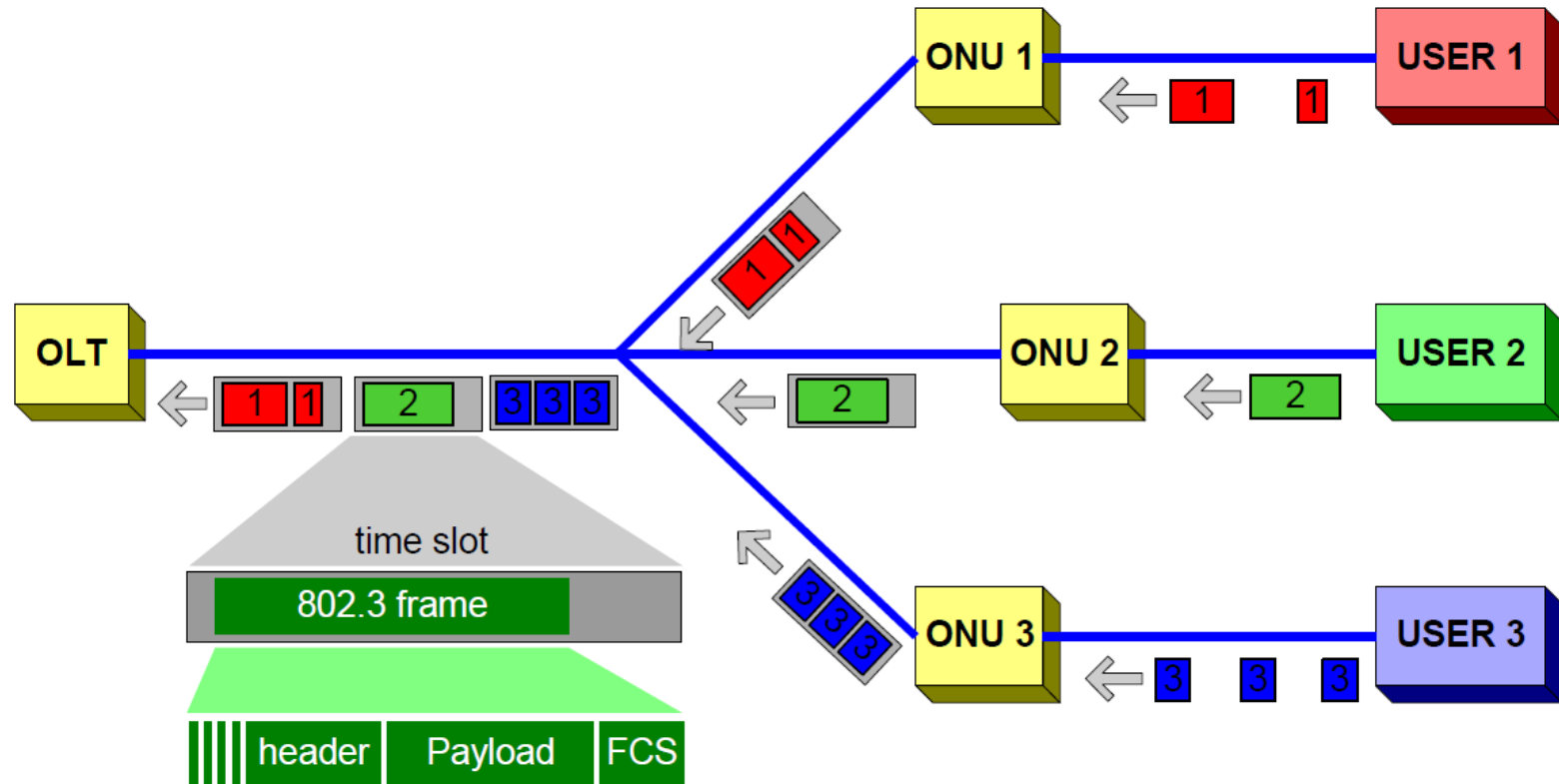
EPON Downstream iletimi

- Downstream kanalı broadcast.
- 802.3 Frame'leri ONU'lar tarafından çıkartılır

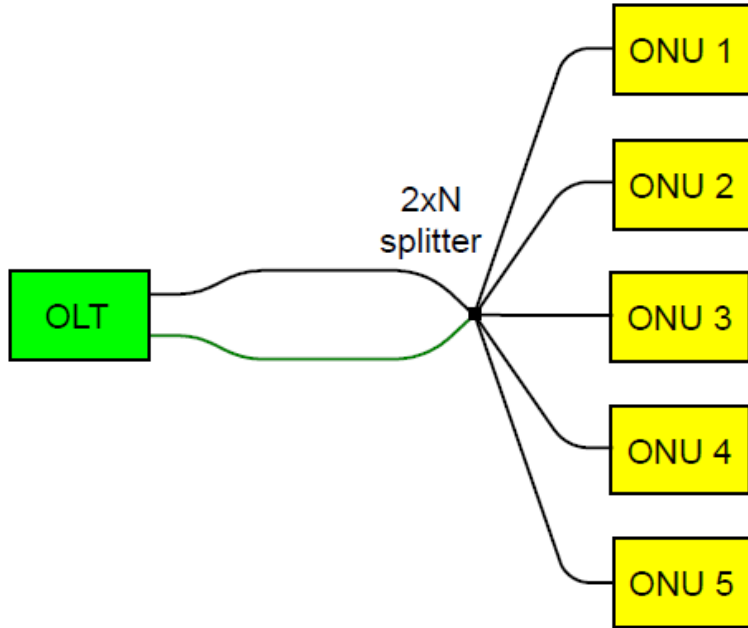


EPON Upstream iletimi

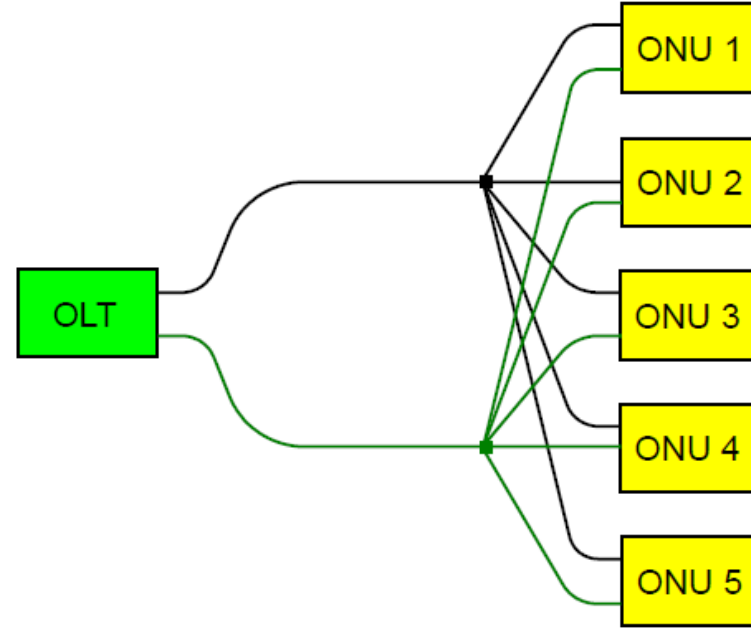
- Upstream zaman bölmeli
- Paketler bütün olarak ilerler
- Çarpışma olmaz



PON Fiber kopmalarına karşı koruma



(a) Yedek gövdeli ağaç



(b) Tam yedekli ağaç
Pahalı fakat tam koruma
(Şirketler vb. için önemli..)

Çok-Noktalı Kontrol Protokolü

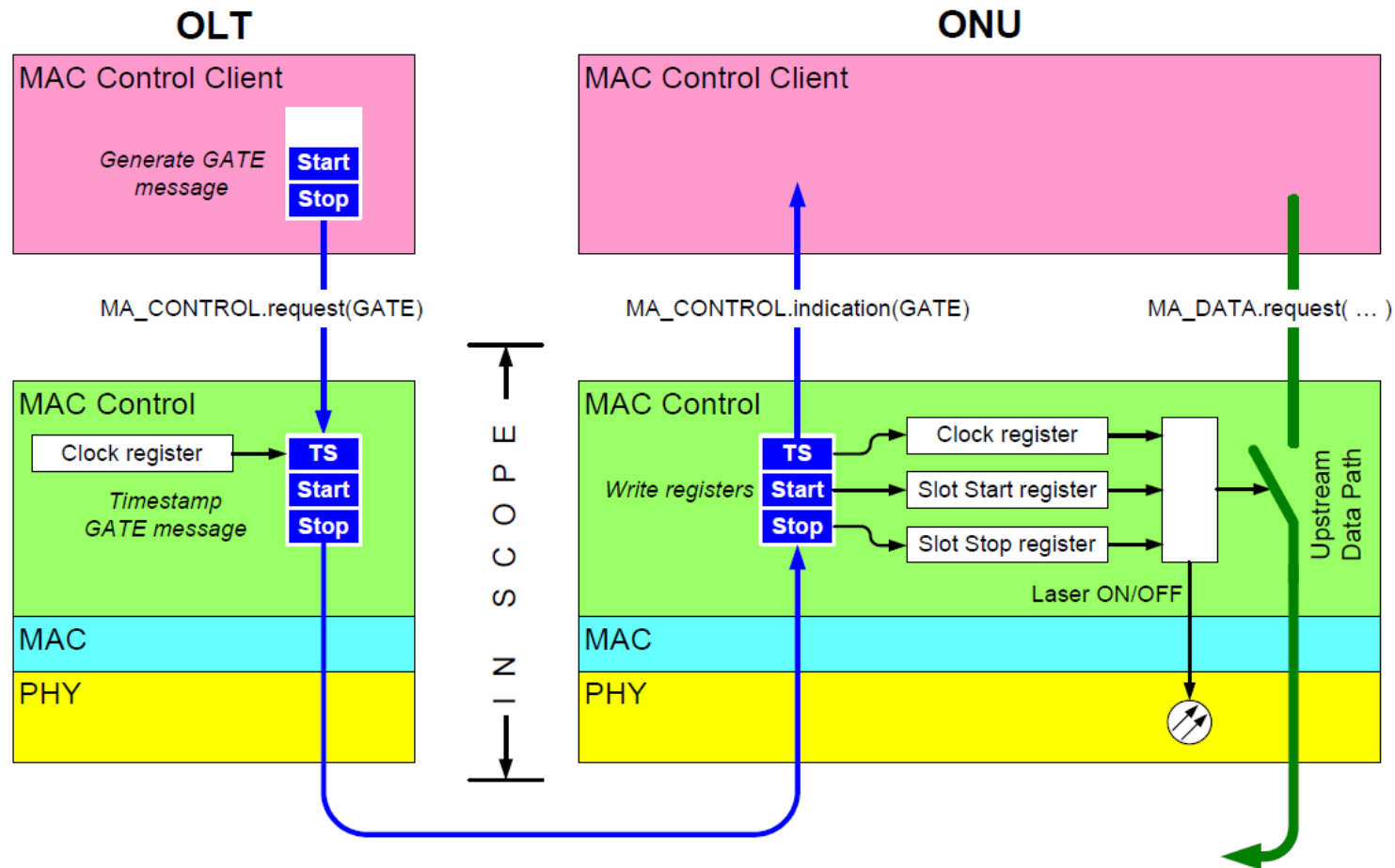
Multi-Point Control Protocol(MPCP)

- ❑ MPCP, noktadan-çok-nokta segmentine bağlı master/slave üniteleri arasında (OLT/ONU) verimli veri iletimi için kontrol mekanizmasını tanımlar.
- ❑ MPCP, MAC Kontrol katmanında uygulanır.
- ❑ MPCP iki MAC kontrol mesajını kullanır: GATE ve REPORT
- ❑ Farklı üreticilerin, farklı bantgenişliği atama ve zamanlama algoritmaları vardır. (IPACT vb..)

GATE mesajı

- ❑ OLT, ONU'lara zaman slotları atamak için GATE mesajı gönderir.
- ❑ GATE mesajı bir MAC kontrol mesajıdır.
- ❑ GATE mesajı şunları içerir;
 - ❑ Zaman damgası (Timestamp)
 - ❑ Slot başlangıç zamanı
 - ❑ Slot uzunluğu
- ❑ OLT atanan zaman slotlarında çakışma olmayacağını garantiler (yani kanal çarpışması oluşmaz).

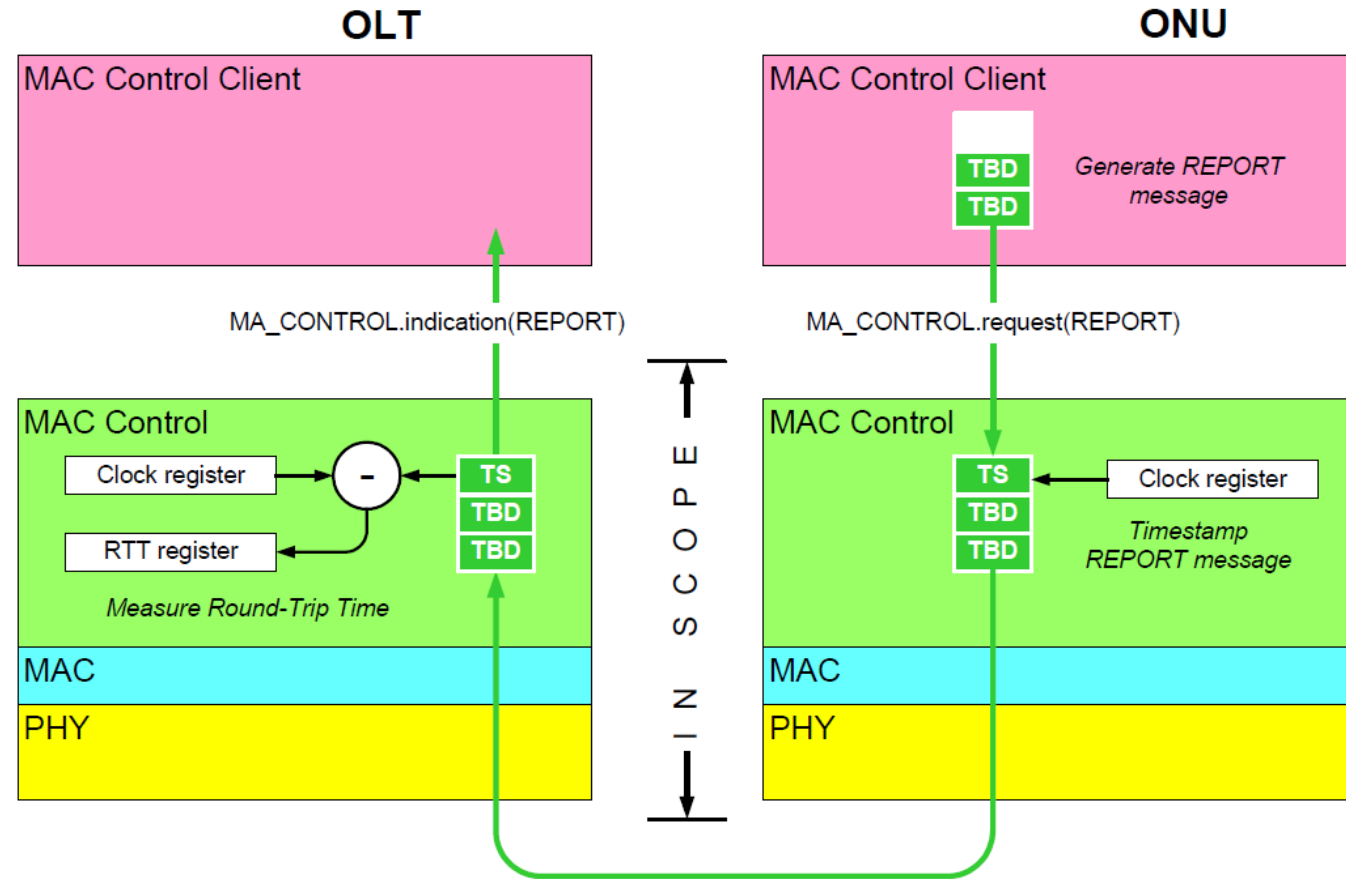
GATE işlemi



REPORT mesajı

- ❑ ONU, yerel durumunu (kuyruk uzunluğu –queue length) bildirmek için OLT'ye bir REPORT mesajı gönderir.
- ❑ REPORT mesajı şunları kapsar;
 - ❑ Zaman damgası
 - ❑ Kuyruk uzunluğu
- ❑ ONU, bu REPORT mesajını kendine atanmış zaman slotunda gönderir.
- ❑ REPORT mesajı önetkin olarak ve OLT'in isteği üzerine gönderilebilir.

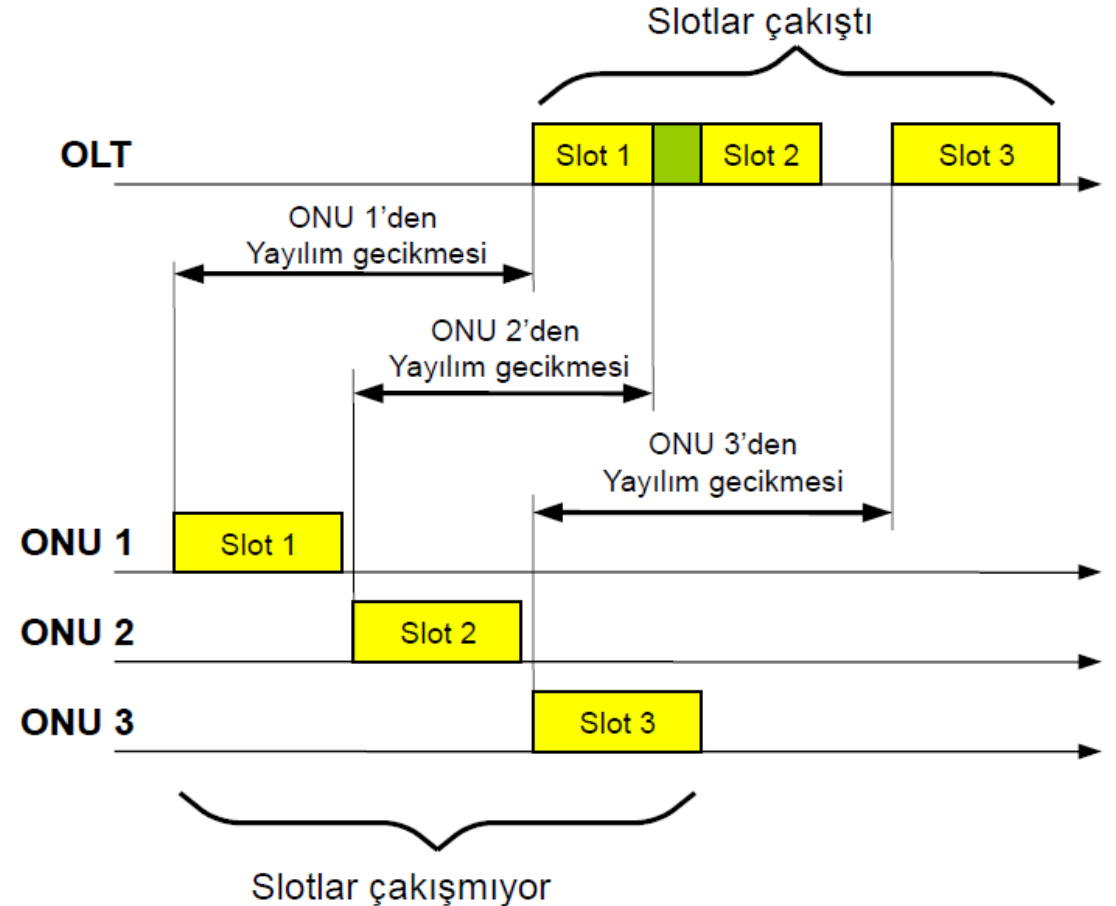
REPORT işlemi



Gecikme telafisi (Delay Compensation)

ONU'lar farklı yayılım gecikmelerine sahiptir
(hepsi OLT'den eşit uzaklıkta değildir.)

Gecikme telafisi olmadan ONU'lara atanan slotlar, OLT'ye vardıklarında çakışabilirler



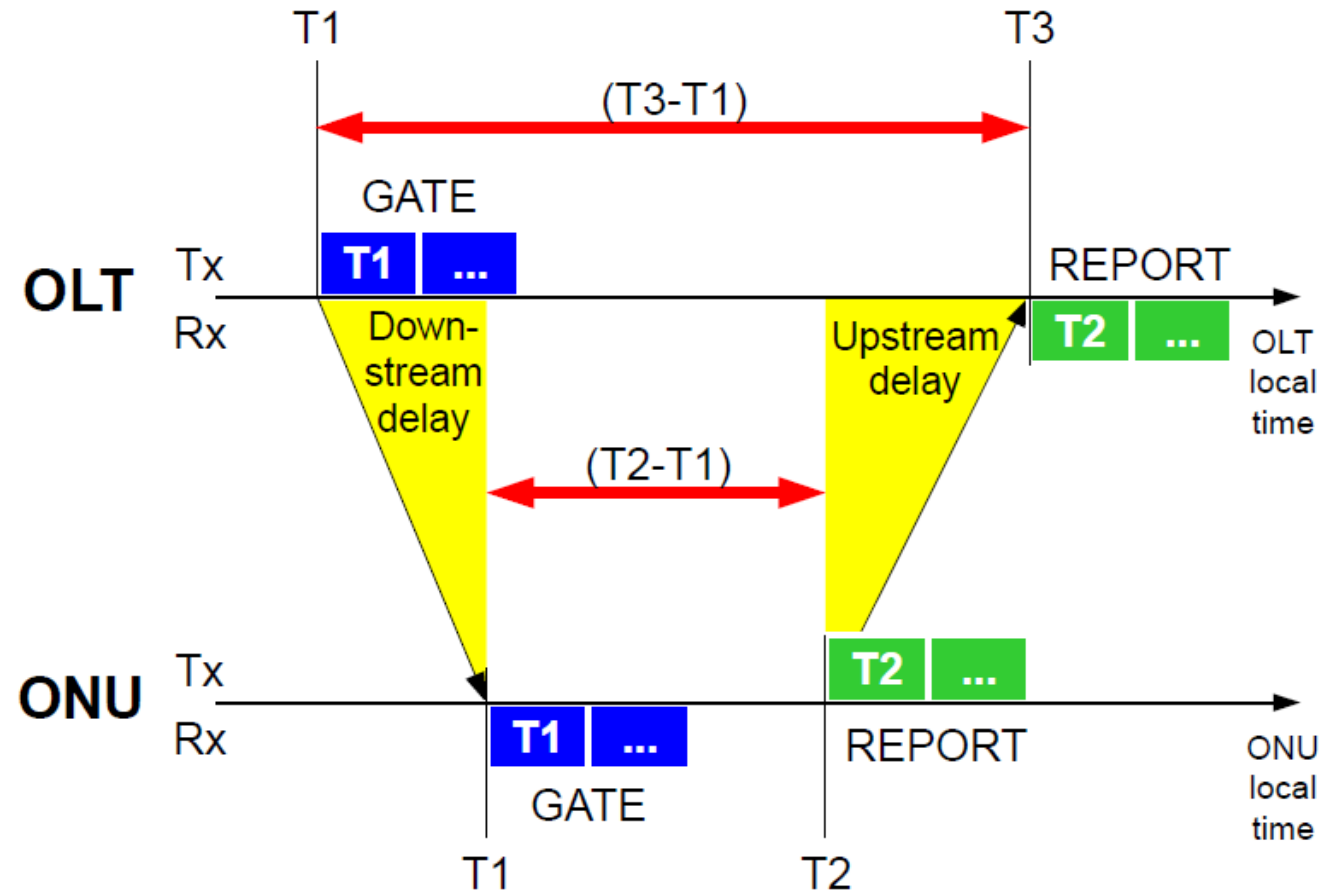
Gecikme telafisi

- ❑ Gecikme telafisi OLT tarafında yapılır;
- ❑ OLT kanalın boşalacağı T zamanını hesaplar (en son zamanlanan ONU_{i-1} 'den gelecek son bitin tahmini alınma zamanı)
- ❑ OLT, ONU_i 'ye GATE mesajını gönderirken Slot başlangıç zamanına $SlotStart=T-RTT_i$ yazar.
- ❑ RTT_i =Round-Trip Time, yani ONU_i ve OLT arasındaki gidip gelme süresi.
- ❑ Bu durumda OLT her bir ONU için RTT 'yi bilmek zorundadır.

RTT Ölçümü

1. OLT , T1 zamanında zaman damgası T1 olan bir GATE mesajı yollar
2. ONU ,GATE mesajını alır ve yerel zamanını T1'e ayarlar
3. ONU,T2 zamanında zaman damgası T2 olan bir REPORT mesajı yollar
4. OLT , T3'de REPORT mesajını alır
5. OLT hesaplar: $RTT = T3 - T2$

$$RTT = (T3 - T1) - (T2 - T1) = T3 - T2$$

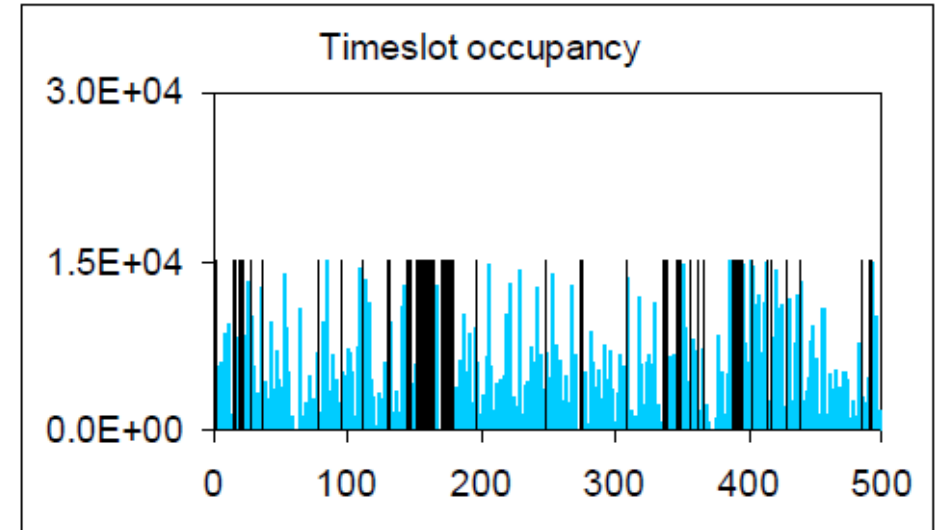
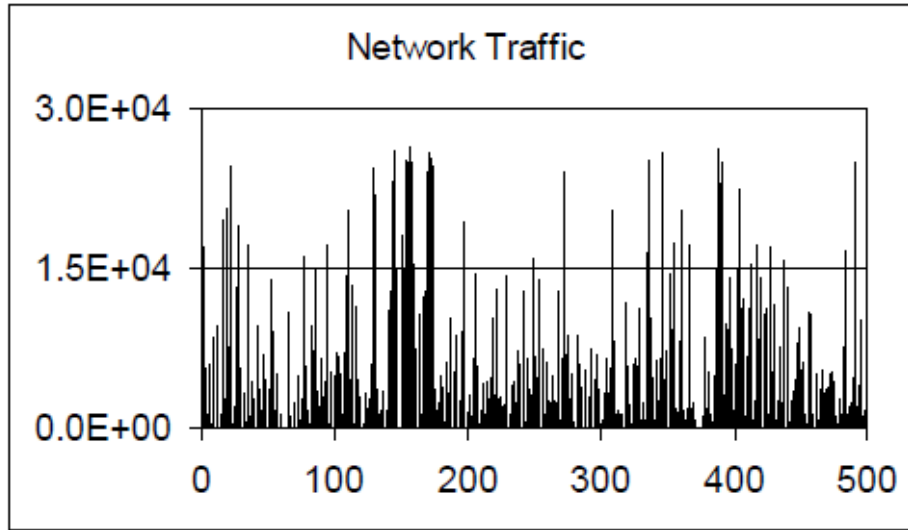


Bantgenişliği ataması

- ☐ Statik (durađan/sabit) atama
- ☐ Slot boyutu ve slot periyodu deđiřmez.
- ☐ Her aboneye sabit sanal devreler verilir.
- ☐ Genellikle şirketler tarafından kullanılır.
- ☐ Ağın durumlarından ve/veya kullanıcı taleplerinden bağımsız olarak bantgenişliği verilir.
- ☐ Dinamik atama
- ☐ Slot boyutu ve slot periyodu kullanıcın taleplerine göre veya ađ durumuna göre değişiklik gösterir.

Statik atamadaki problemler

- ❑ Veri/video trafiği kendine-benzerdir (self-similar), yani birçok zaman ölçeği için yığınlı bir yapıya sahiptir. Bu nedenle optimum sabit slot boyutu mevcut değildir.
- ❑ Birçok slot ya fazla yüklenmiştir yada kapasitesinin altında kullanılmıştır.



▲ Overutilized ▼ Underutilized

Dinamik Atama

- ❑ Daha fazla servisi/uygulamayı karşılamak için bantgenişliği, boşduran ONU'lardan gönderecek çok şeyi olan ONU'lara yeniden dağıtılmalıdır.
- ❑ Nasıl?
 - ❑ Arz/Talep planı kullanılabilir.
 - ❑ Her ONU'ya, o ONU'daki kuyruk boyutuna göre bir slot atanır.
- ❑ Problemler:
 - ❑ Yayılım zamanlarının birikimi
- ❑ Çözüm:
 - ❑ Uyarlanabilir Devir Zamanı ile Sırayla Birleştirilmiş Kuyruklama (Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time -IPACT)
 - ❑ Yayılım zamanlarından kazanmak için farklı ONU'lara sıralı ve aralıklı bir şekilde arz gönderme

IPACT: Adım 1

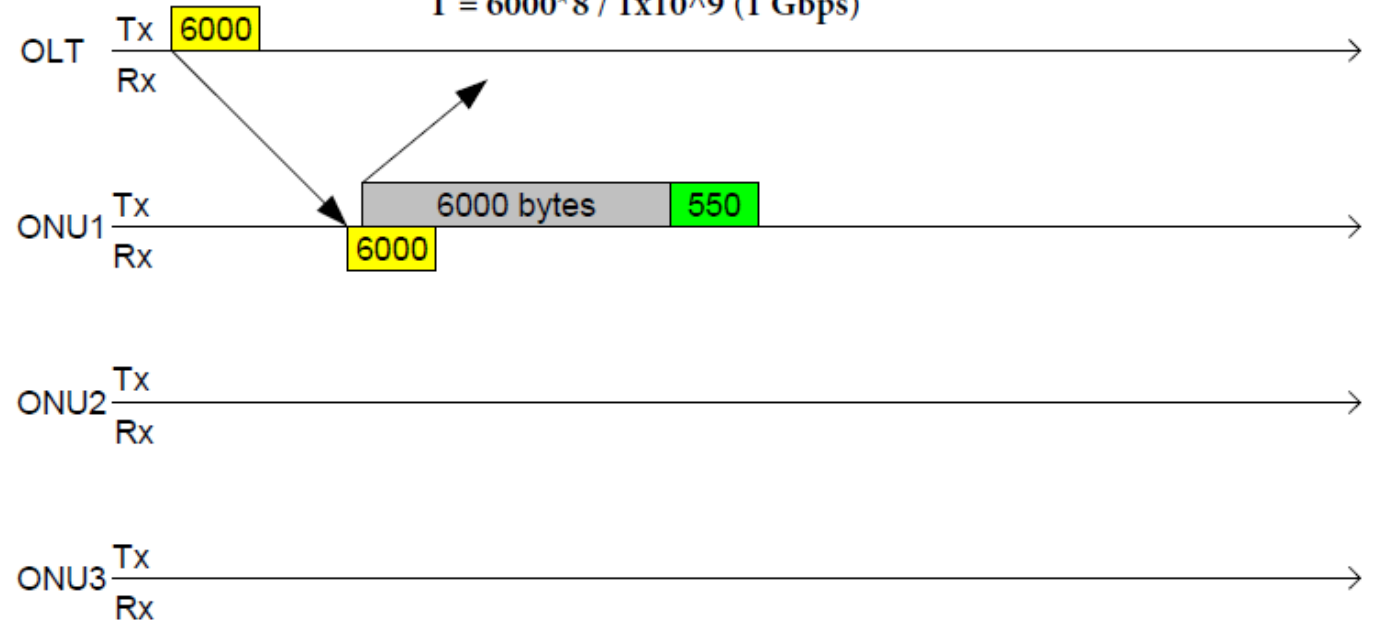
□ Bir kuyruklama tablosunun oluşturulduğunu varsayalım

1. ONU1 için 6000 byte'lık **Arz (Gate mesajı)** gönder
2. ONU1 6000 Byte'ı gönderir ve 550 byte'lık yeni **Talep (Report mesajı)** gönderir.

ONU	Bytes	RTT
1	6000	20
2	3200	17
3	1800	12

Kuyruklama tablosu
(Polling table)

$$\text{Transmission time} = L (\text{Length}) / R (\text{Rate})$$
$$T = 6000 \cdot 8 / 1 \times 10^9 (1 \text{ Gbps})$$



x

-x slot boyutunda arz

y

-y slot boyutunda talep

z

- Kullanıcı verisi (z boyutunda çoklu Ethernet paketi)

IPACT: Adım 1

1. $RTT1=20\ \mu s$ olsun
2. 6000 byte'lık verinin gönderim zamanı $T=48\ \mu s$ hesaplanır
3. ONU1'den gelen mesaj $68\ \mu s$ de tamamlanır
4. ONU2'ye $68-RTT2$ zamanında gate mesajı gider yani $68-17=51\ \mu s$ de

☺ Saniye

Katı	Adı	Sembol		Katı	Adı	Sembol
10^0	saniye	s				
10^1	dekasaniye	das		10^{-1}	desisaniye	ds
10^2	hektosaniye	hs		10^{-2}	santisaniye	cs
10^3	kilosaniye	ks		10^{-3}	milisaniye	ms
10^6	megasaniye	Ms		10^{-6}	mikrosaniye	μ s
10^9	gigasaniye	Gs		10^{-9}	nanosaniye	ns
10^{12}	terasaniye	Ts		10^{-12}	pikosaniye	ps
10^{15}	petasaniye	Ps		10^{-15}	femtosaniye	fs
10^{18}	egzasaniye	Es		10^{-18}	attosaniye	as
10^{21}	zettasaniye	Zs		10^{-21}	zeptosaniye	zs
10^{24}	yottasaniye	Ys		10^{-24}	yoktosaniye	ys

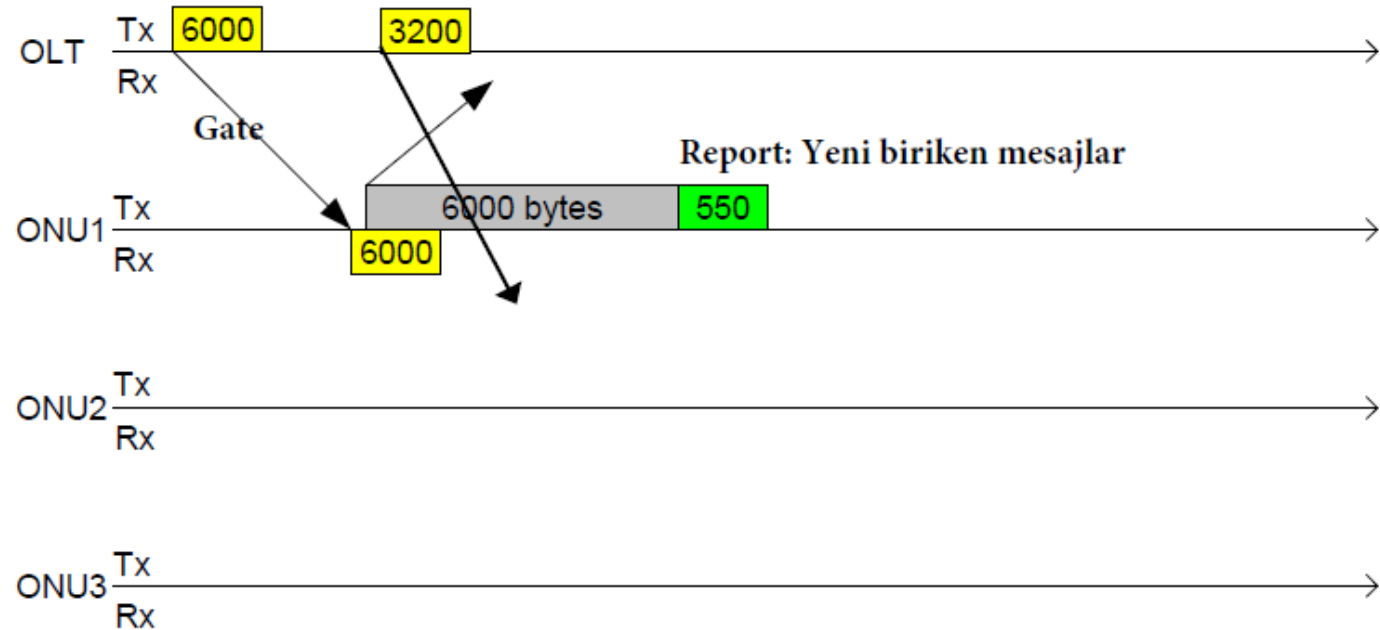
IPACT: Adım 2

□ OLT, ONU 1'den veri almaya başlamadan önce ONU 2'ye de **Arz** gönderir.

□ Yeni **Arz** gönderilirken ONU1 ve ONU2 arasında veri çarpışması olmayacak şekilde gönderilir.

ONU	Bytes	RTT
1	6000	20
2	3200	17
3	1800	12

Kuyruklama tablosu
(Polling table)

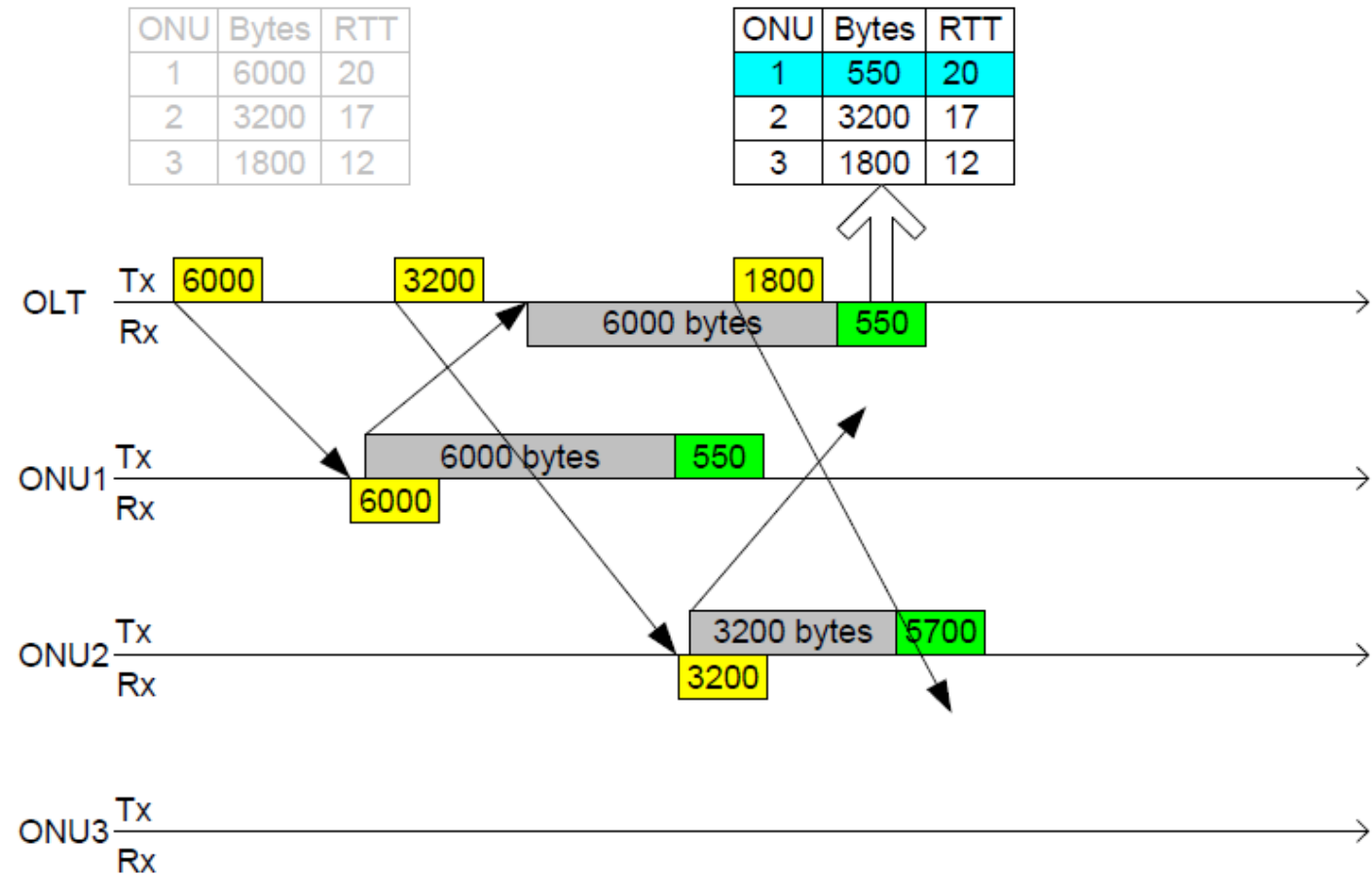


IPACT: Adım 2

1. 3200 byte'lık verinin gönderim zamanı $T = 25.6 \mu s$ hesaplanır
2. ONU2'den gelen mesaj $68 + 25,6 = 93,6 \mu s$ de tamamlanır
3. ONU3'e $93,6 - RTT3$ zamanında gate mesajı gider yani $93,6 - 12 = 81,6 \mu s$ de

IPACT: Adım 3

- ❑ Benzer bir şekilde ONU2'den veri alımı yapılmaya başlamadan önce ONU3'e **Arz** gönderilir.
- ❑ ONU1'den ilk bit alındığında tablo RTT verisi için güncellenir.
- ❑ ONU1'den REPORT mesajı alındığında tablo kuyruk boyutu için güncellenir.

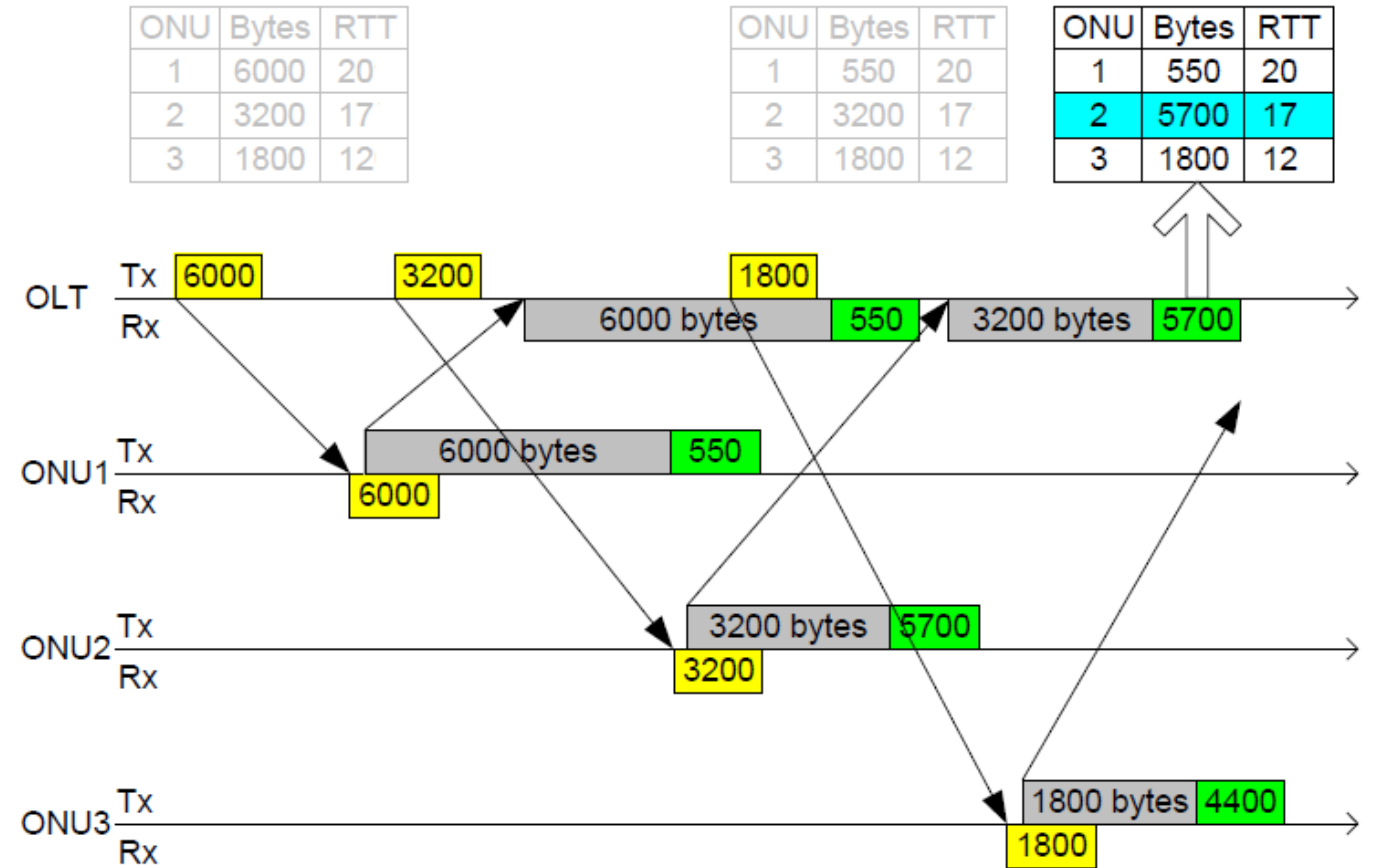


IPACT: Adım 3

1. 1800 byte'lık verinin gönderim zamanı $T = 14.4 \mu s$ hesaplanır
2. ONU3'den gelen mesaj $93,6 + 14,4 = 108. \mu s$ de tamamlanır
3. ONU1'e 108-RTT1 zamanında gate mesajı gider yani $108 - 20 = 88. \mu s$ de

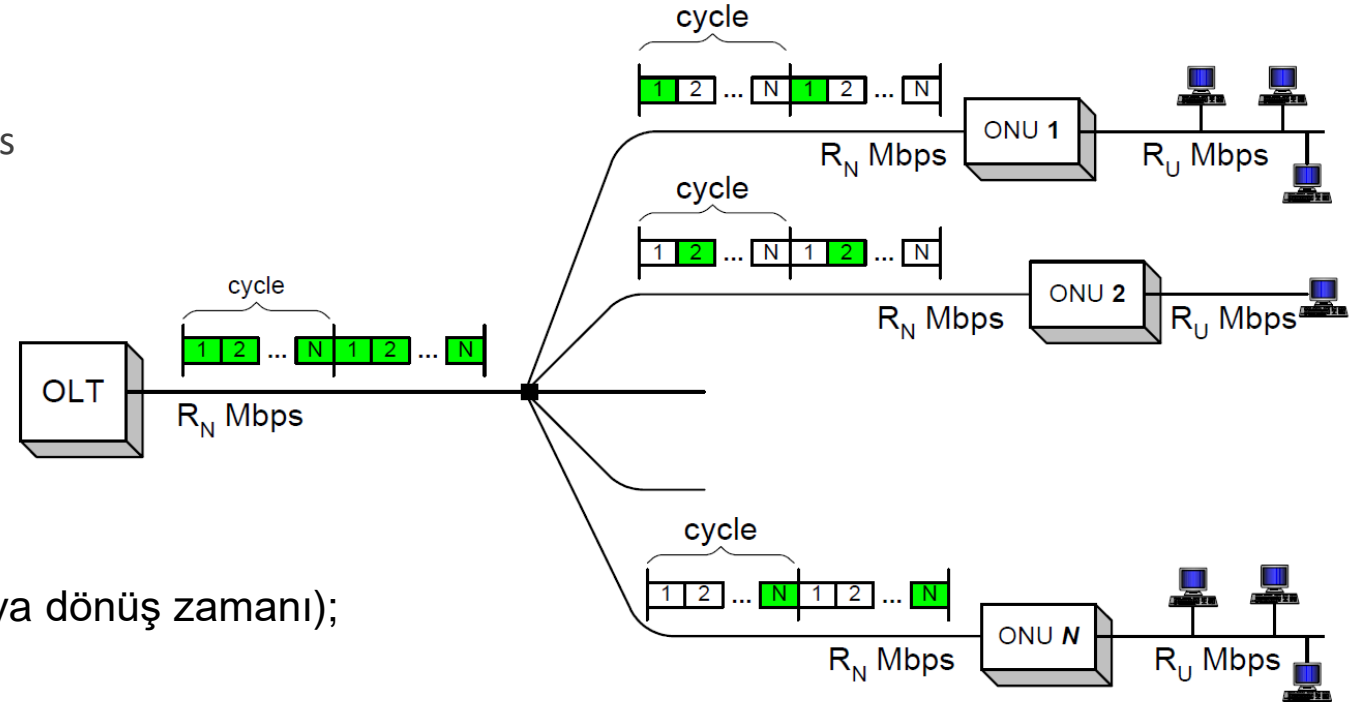
IPACT: Adım 4

- ❑ ONU2'den ilk bit alındığında tablo RTT verisi için güncellenir.
- ❑ ONU2'den REPORT mesajı alındığında tablo kuyruk boyutu için güncellenir.
- ❑ **OLT Alıcı (Receiver) kanalı neredeyse %100 kullanıldı.**
- ❑ En son adımda ONU1'e gate mesajı gönderir. Polling tablosu boş olsa bile. Gönderimler arası biriken mesaj olabilir.



Sistem Parametreleri

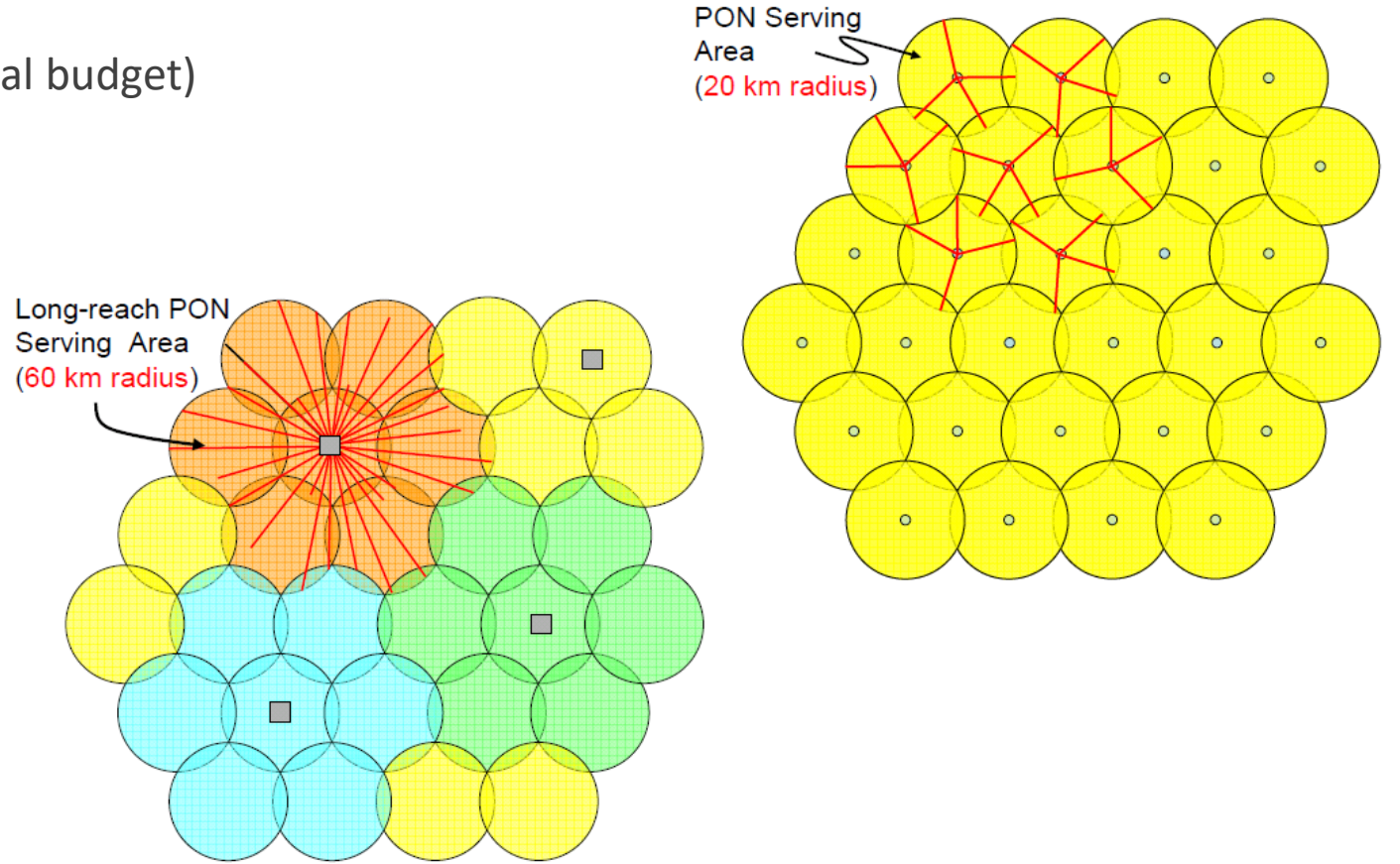
Parametre	Açıklama	Değer
N	ONU sayısı	16
R_U	Kullanıcı hat hızı	100 Mbps
R_N	EPON hat hızı	1000 Mbps
Q	ONU buffer boyutu	10 Mb
B	Koruma aralığı	$5 \mu s$
T	Devir zamanı	$2 ms^*$



*Sabit atama için sabit devir zamanı (Aynı ONU'ya dönüş zamanı);
Dinamik atama için maksimum devir zamanı

Uzun-Erişimli PON/Long-Reach PON (LR-PON)

- ❑ Kapsama alanının genişletilmesi
 - ❑ Optik fiberdeki kayıpları azaltarak (Optical budget)
(ve OA ile yükselterek);
 - ❑ 20km'den 100km veya daha fazlasına
 - ❑ Aktif bölgeler azaltılıyor.
- ❑ Daha etkili bir ağ
 - ❑ Daha yüksek bantgenişliği
 - ❑ Daha fazla son kullanıcı
 - ❑ Yüksek enerji verimliliği
 - ❑ Düşük maliyet



Long-Reach PON (LR-PON)

□ EDFA ile yükseltme

□ Optik enerji hesabı; $L_T = \alpha L + L_c + L_s$

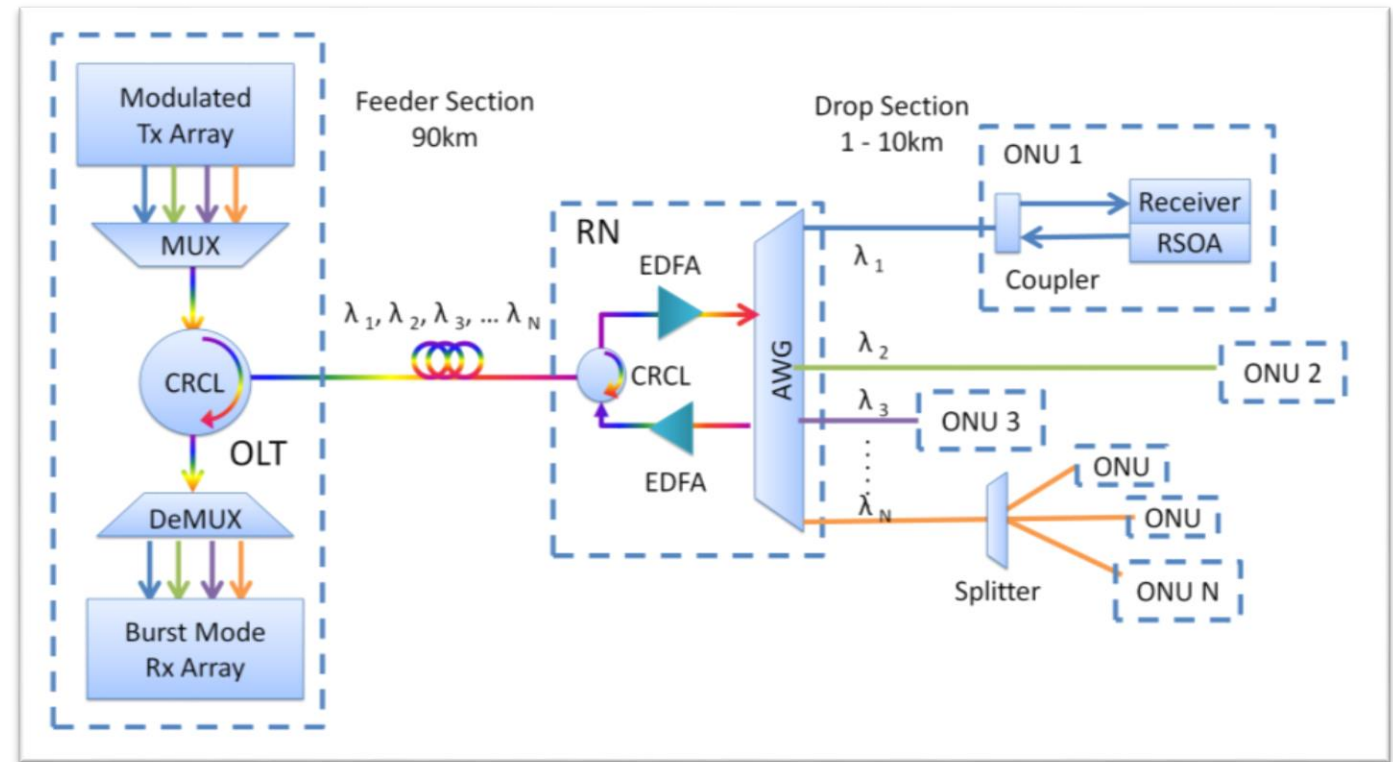
Tanım: L_T - Total loss

α - Fiber attenuation

L - Length of fiber

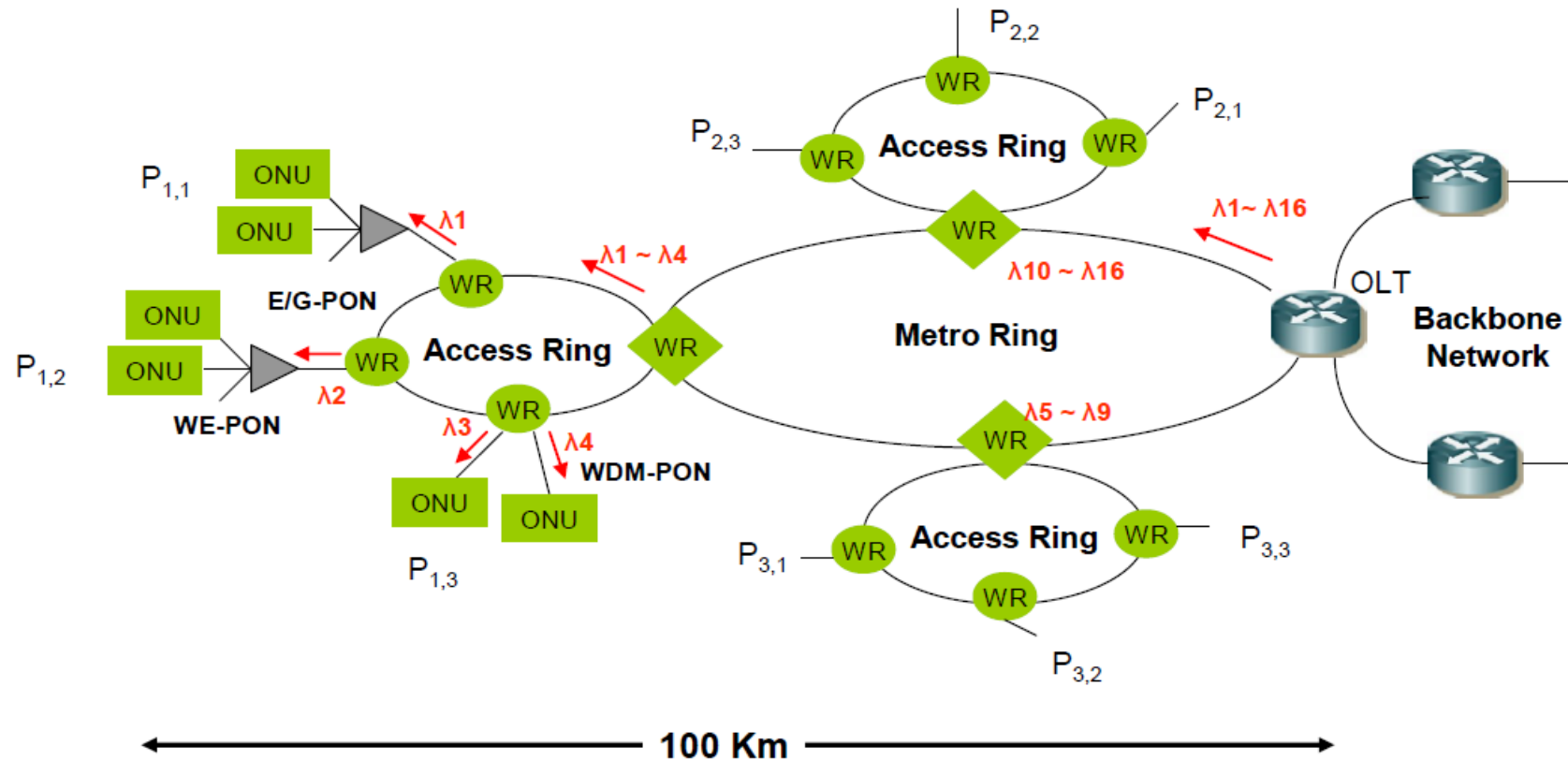
L_c - Connector loss

L_s - Splice loss



Uzun-Erişim Genişbant Erişim

Long-Reach Broadband Access



Kablosuz Optik Genişbant Erişim Ağları

Wireless Optical Broadband Access Networks -WOBAN

