

Pasif Optik Erişim Ağlarının Gelişimi

Özgür Can Turna, M.Ali Aydın, A.Halim Zaim

İstanbul Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

ozcantur@istanbul.edu.tr, aydinali@istanbul.edu.tr, ahzaim@istanbul.edu.tr

Özet: Bu makalede pasif optik erişim ağlarının yapısı ve pasif optik erişim ağları için geliştirilmiş standartlar ele alınmıştır. Pasif optik erişim ağlarının geliştirilmesi için yapılan çalışmalara değinilmiş, kullanılan teknolojilerden bazıları (dalga boyu bölmeli çoğullama, optik yükselteçler v.b.) açıklanmıştır.

Abstract: In this study passive optical access network architecture and the standardization works are summarized. The studies for improvements on passive optical access networks are mentioned and some technologies which is used in these improvements (wavelength division multiplexing, optical amplifiers etc.) are explained.

Anahtar Kelimeler: Pasif Optik Erişim Ağı, PON.

1. Giriş

İnternet kullanımının giderek yaygınlaşmasına paralel olarak kullanıcıların daha yüksek kapasite isteyen uygulamalara (HDTV, Online Oyunlar, P2P dosya transferi) olan eğilimleri gün geçtikçe artmaktadır. Trafik ihtiyacındaki bu artış servis sağlayıcıları son kullanıcıya daha iyi hizmet vermeye zorlamaktadır. Pasif optik erişim ağları (Passive Optical Network – PON) ise bu konuda, fiber teknolojisinin yüksek kapasitedeki veriyi daha uzun mesafelere taşıyabilmesinden dolayı öne çıkmaktadır. Var olan elektronik tabanlı veri iletim yöntemleri geliştiriliyor olmasına rağmen (ADSL, VDSL v.b. çift sarmal bakır telefon sisteminde, Kablo Modem koaksiyel kablolu CATV sistemlerinde) bu sistemler kısa mesafelerde çalışabilmekte ve enerji tüketimleri fazla olmaktadır. Sistemin fibere dönüştürülmesinde maliyet göz önünde bulundurulması gereken bir konudur. Yeni hatların döşenmesi ağ (network) maliyetinin en önemli kısmını oluşturmaktadır [1]. Diğer önemli bir gider noktası da ağdaki ara elemanların bakımı ve enerjisi için gerekli yatırımlardır. Bu makalede optik erişim ağlarının yıllardaki gelişimi ele alınacaktır. Erişim ağları konusunda giderek üzerinde daha önemle du-

ruulan pasif optik erişim ağlarındaki gelişmeler ve standartlaştırma çalışmaları özetlenecektir.

İkinci bölümde optik erişim ağ tipleri verilecek, üçüncü bölümde pasif optik ağ yapısına değinilecek, dördüncü bölümde pasif ağ standartları anlatılacak ve beşinci bölümde geleceğe yönelik pasif optik erişim ağlarına yönelik yapılan çalışmalara değinilecektir.

2. Optik Erişim Ağ Tipleri

Optik erişim ağları üç değişik şekilde düzenlenebilmektedir [1].

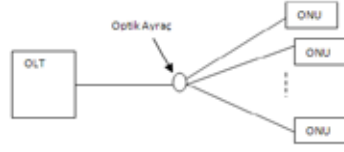
2.1 Noktadan Noktaya Bağlantılı Ağlar

Noktadan noktaya bağlantılarda, merkezi ofisten her bir kullanıcıya iletimin yapılması için ayrı bir optik hat döşenir. Bu şekildeki bir yaklaşım sistemin ilk oluşturulma maliyetini çok yükseltir fakat sistemin ileriye dönük genişletilmesinde maksimum esnekliği sağlar. Ayrıca kullanıcılara en yüksek kapasitede hizmet verilmesine imkân tanır.

2.2 Aktif Yıldız Bağlantılı Ağlar

Tek bir fiberin bütün trafiği aktif bir düğüme kadar taşındığı ve bu aktif düğümden sonra bağım-

sız fiber hatların bir kabine, apartmana veya eve bağlandığı bir modeldir. Birinci modele göre son kullanıcıya erişmek için daha kısa uzunluklarda birbirinden bağımsız fiberler döşendiği için daha ucuzdur. Fakat arada bulunan aktif düğümün enerji ve bakım maliyetleri vardır.



Şekil 1: PON mimarisini

2.3 Pasif Yıldız Bağlantılı Ağlar

Aktif düğümlü mimarideki ara aktif elemanın pasif bir optik elemanla değiştirilmesi sonucu oluşan mimarilere verilen addır. Aktif elemanın kaldırılması ile uygulama maliyetinin yanında ara düğüm için gerekli enerji ve bakım maliyeti de ortadan kaldırılmış olur. Pasif mimariler maliyetin azalmasındaki bu katkılarından dolayı optik fiberin erişim ağlarında kullanılmasında oldukça popüler olmuşlardır. Genellikle Pasif Yıldız Bağlantılı Ağlar Pasif Optik Ağlar (Passive Optical Networks-PON) olarak isimlendirilirler.

Sonraki bölümlerde PON için yapılan standartlaştırma çalışmaları geleceğe yönelik yeni fikirler ve mimarinin çalışması konusunda bilgiler verilecektir.

3. Pasif Optik Erişim Ağları

Fiber hatların yüksek iletim kapasitesini bilgisayar ağlarının her aşamasında kullanabilmek giderek yaygınlaşan bir fikirdir. Özellikle geniş ölçekli (metro) ağlarda kullanılan fiber teknolojisi artan kapasite ihtiyacının karşılanabilmesi açısından artık son kullanıcıya erişim için de kullanılmaya başlamıştır. Optik iletimin çok hızlı olmasına rağmen ağ operatörlerinin var olan bakır hatları, fiber hatlarla değiştirmesinin maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle optik erişim ağlarının kurulumunda son kullanıcı yerine birden çok kullanıcının paylaşımındaki kabinelerin kullanımını gibi sistemler geliştirilmiştir (Fiber-to-the-Cabinet FTTC, Fiber-to-the-Building FTTB). Gelecekteki sistemlerin ise fiberin doğrudan son kullanıcıya ulaştığı (Fiber-to-the-Home FTTH) sistemler olması öngörülmektedir. FTTH sistemler günümüzde bazı uzak doğu ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir PON sistemi Şekil 1’de görüldüğü gibi Optik Hat Sonlandırıcı (Optical Line Termination – OLT), Optik Ağ Ünitesi (Optical Network Unit – ONU), OLT ve ONU’lar arasında bilgi akışını bölümleyen ve birleştiren optik ayraç ve bu cihazları birbirine bağlayan fiber kablolardan meydana gelmektedir. PON sistemlerde veri iletimi tüm ONU’lardan OLT’ye çoğuşma şeklinde ve OLT’den ONU’lara yayım şeklinde olmaktadır. OLT’den çıkan optik bilgi, ayrıştırıcı ile tüm ONU’lara dağıtılmaktadır. ONU’lar gelen bilgiyi eğer kendisine gönderilmiş ise alıp işlemektedir. ONU’ların kendine ait olmayan bilgiyi de alma durumu olduğundan geliştirilecek servislerin giden paketlerin gizliliğini sağlaması gerekir. Diğer taraftan tüm ONU’lardan OLT’ye gönderilecek bilgiler pasif ayraç düğümünden sonra tek bir fiber hattı kullanmak durumunda kalacağından, gönderilen verilerin hat üzerinde çakışmasını engelleyecek çoklu erişim sisteminin kullanılması gerekmektedir. Günümüzde standartlaşmış PON yapıları zaman bölmeli çoklu erişim (Time Division Multiple Access – TDMA) yöntemini kullanmaktadır. Üzerinde çalışmaların oldukça çok olduğu diğer bir çoklu erişim yöntemi de dalga boyu bölmeli çoklu erişim (Wavelength Division Multiple Access - WDMA) yöntemidir. Bilim dünyasındaki birçok çalışma PON sistemlerde WDMA yönteminin kullanılması veya TDMA ile birlikte kullanılması sonucu, erişilebilecek kullanıcı sayısını ve iletim miktarını arttırmayı hedeflemektedir. WDM sistemlerin kullanılması erişilecek kullanıcı sayısını arttırırken cihaz maliyetlerini de arttırmaktadır.

4. PON Standartları

Bu bölümde ITU-T ve IEEE tarafından açıklanmış PON standartları ele alınacaktır.

4.1. APON – BPON

ITU-T'nin G.983 [2] standardı altında yayımladığı ilk PON standardıdır. Veri iletimi için ATM mekanizması kullanmayı öngörmüştür. Kullandığı paket iletim yöntemi ATM'e dayandığı için önceleri APON olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra geliştirilen standart sadece ATM paket taşınmasına bağımlı olmadığını göstermek için BPON ismi kullanılmıştır. Maksimum 20km mesafede 622Mbs aşağı yönde ve 155Mbs yukarı yönde veri iletimini sağlar. Tek kip fiberler(Single mod fiber) kullanılmasını öngörür. Optik ayraçın maksimum ayırma oranı 1:32 olarak belirlenmiştir. BPON sistemleri çoklu erişim sağlayabilmek için TDMA yöntemini kullanırlar. BPON aşağı yönde 1.5nm dalga boyu bandı, yukarı yönde ise 1.3nm dalga boyu bandını kullanmaktadır. ATM PON sistemleri veri trafiğinin taşınması için tasarlanmış olmasına rağmen erişim ağlarının hizmet verdiği son kullanıcının ucuz kablolu TV ihtiyacına da hizmet verebilmesi gerekmektedir. G983.3 standardında video servisleri için optik spektrumda bir bölge ayarlanmıştır. APON hizmeti ile video servisi hizmetinin sağlayıcı ve kullanıcı tarafında birbirinden bağımsız olarak çalışabilmesi için dalga boyu bölmeli çoğuşturma (WDM) yöntemi kullanılmaktadır.

4.2. GPON

ITU-T G.984 altında geliştirilmiş standarttır. BPON standardının takipçisidir. Aşağı yönde 2.488Gbs, yukarı yönde de 1.244Gbs veri iletimini öngörmektedir. Optik ayraçtaki bölümlenme oranı 1:64'tür ve standart 1:128'i gelecek uygulamalar için desteklemektedir. Erişim ağlarındaki IP trafiğin ATM hücrelere bölünerek taşınması sisteme ek yük getirmektedir. Bu nedenle GPON'da ITU-T, BPON'da kullanılan ATM hücreleri yerine 125µs'lik çerçeve-

leme yöntemi kullanılmaktadır. Bu çerçeveler içerisinde Ethernet, ATM veya klasik TDM paketlerini taşıyabilmektedir. Kullanılan bu kapsül mekanizması sayesinde GPON sadece Ethernet veya sadece ATM kipinde çalışabilme imkânına da sahiptir.

GPON servis kalitesi (Quality of Service - QoS) sağlayan SLA (Service Layer Agreement) yöntemi ile OLT ve ONU'lar arasındaki servis kalitesi ihtiyacını ONU yönetim ve yapılandırma ara yüzü aracılığı ile sağlar. GPON'da fiziksel ve taşıma katmanları iyice tanımlanmış olmasına rağmen üst katmanlar henüz tanımlanmamıştır. Hattaki olası aksaklıklara karşı optik erişim ağındaki fiberleri çoğullayarak değişik hat koruma yapılandırmaları da GPON standardında tanımlanmıştır. Bu koruma yöntemlerinin kullanılması ise hizmet verici firmaya bırakılmıştır. Koruma yapısının kullanılması birtakım OAM çerçevelerinin tanımlanmasını gerektirmektedir. Pasif optik ağların aşağı yöndeki veri iletimi yayım şeklinde olduğu için kullanıcı verisinin istenmeyen şekilde başka kullanıcıların eline geçmesini önleyecek güvenlik önlemleri gerekliliği standartta ifade edilmiştir.

4.3. EPON – GEPON – 10G EPON

EPON standardı IEEE 802.3ah EFM (Ethernet in the First Mile) grubu tarafından geliştirilmiştir. ATM PON sistemlerinden temel farkı veri iletimi için sabit ATM hücreleri yerine değişken uzunlukta olabilen Ethernet paketleri kullanmasıdır. EPON sistemler veri iletimi için aşağı ve yukarı akış yönünde sabit uzunluklu çerçeveler kullanır. Her çerçeve değişik ONU'lara ait zaman slotlarından oluşur. Ethernet paketleri bu zaman slotları içerisinde bölünmeksizin taşınmaktadırlar. Eğer bir Ethernet paketi var olan zaman slotuna giremeyecek boyutta ise bir sonraki slota kalır. ATM PON'daki gibi EPON da aşağı akış yönünde 1,5nm dalga boyu bandını yukarı akış yönünde de 1,3nm dalga boyu bandını kullanmaktadır. Gigabit iletimin mümkün olduğu GEPON

standartı geliştirilmiş ve her iki yönde simetrik 1,25Gbps iletme imkân tanınmıştır [3].

IEEE 802.3av altında 10Gbps aşağı akış 1Gbps yukarı akışı olanaklı kılacak 10G-EPON standardı geliştirilmiştir.

4.4. NGPON

FSAN (Full Service Access Network) NGA (Next Generation Access) grubu [4] GPON standardı üzerinden yeni nesil optik erişim ağı standardı geliştirmeye çalışmaktadır. Yeni nesil erişim ağı standardı için birçok mimari ve teknolojik gelişmeleri incelemektedir (WDM kullanımı, 10Gbps iletim, Optik yükselteçler v.b.). Geliştirilecek yeni standardın şu an kullanımında olan GPON ve GEPON sistemlerle uyumlu olması gerekmektedir.

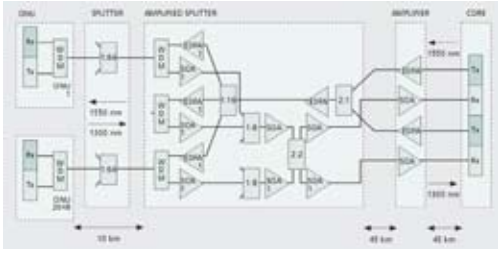
5. Yeni Nesil PON Çalışmaları

PON sistemlerinin kapasitesini, erişim mesafesini ve erişilen kullanıcı miktarını arttırmak için dünyada birçok çalışma grubunda araştırmalar yapılmaktadır. Daha uzak mesafelere erişebilecek PON sistemleri için yapılan çalışmaların özeti [5]'de bulunmaktadır. Uzun mesafeli erişim ağlarının tasarlanması ile elde edilecek en önemli artılar; ara düğüm elektronik elemanların azaltılması ve ağın daha basit bir yapıya indirgenmesidir. 100km uzunluğunda fiber altyapı kullanılarak erişim ağları ile metro ağların yerini alacak bir PON sistemi kurulabilir. Bunun için düşünülen genel yapılarda son kullanıcılar bir PON sistemi ile yerel değişim noktalarına bağlanacak ve bu yerel değişim noktaları ile merkez ofis arasında yüksek kapasiteli fiber hattın bulunmasıdır. Şu anda var olan PON standartları 20km mesafede 16(BPON), 32 (EPON), 64(GPON) ayrımla çalışabilmektedir. PON sistemlerin daha fazla kullanıcıya hizmet verebilmesi için daha fazla ayrıştırma yapabilecek sistemler tasarlanmaktadır. Ayrıştırma oranının artması aşağı akıştaki iletilen optik sinyalin gücünde azalma meydana getireceği için ayrıştırma oranını arttırmak

için optik yükselteçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca yerel değişim noktaları ile merkez ofis arasında kalan uzun mesafe fiber hatta taşınan verinin de sinyal gücündeki azalmayı gidermek için optik yükseltece ihtiyaç vardır. Ayrıştırmayı ve mesafeyi artırabilmek için gerekli güç ihtiyacını karşılamak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir: GPON genişletme kutusu, yarıiletken optik yükselteç, praesodmi-num/thulium fiber yükselteç, transponders [6]. Geleceğin PON sistemleri için yaygın olarak, 1530-1600nm aralığında etkin kullanılabilen EDFA (erbium doped fibre amplifier) yükseltecinin kullanımı tasarlanmaktadır. EDFA kullanımı ile 10Gbps iletim hızında 100km mesafeye erişebilen PON sistemlerinin kurulabilmesi mümkün görülmüştür. Ayrıştırma oranını ve hattın taşıma kapasitesini arttırmak için üzerinde çalışılan diğer bir konuda dalga boyu bölmeli çoklu erişim yönteminin TDMA ile birlikte kullanılmasıdır. Bu bölümün devamında yeni nesil PON sistemleri geliştirmek için yürütülen iki çalışmaya değinilecektir.

5.1. PLANET Super PON

Yapılan çalışmalar FTTH(Fiber to the Home) tekniğinin FTTC (Fiber to the Cabinet) tekniğinden daha uygun olduğunu ortaya koymuştur [7]. FTTH'ın kurulumunda daha fazla fiber döşenmesi gerekirken FTTC sistemlerde bakıma ihtiyaç duyacak sokak ünitelerinin (kabin) kullanılması gerekir. Burada FTTH sistemler aktif cihazların bakım maliyetini son kullanıcıya bıraktığından geniş kapsamda işletme maliyeti bakımından avantajlıdır. 100km mesafede 2048 ayrıştırma ile hizmet verebilecek bir PON sistemi kurmayı amaçlamıştır. Bunun için BPON standardınının 32 olan ayrıştırma miktarını 1024'e çıkarmayı ve erişilebilen azami mesafeyi 20km'den 100km'ye çıkarmayı planlamaktadır. Ayrıştırma miktarının artırılması ve mesafedeki artışı sağlamak için yükselteçler kullanılmaktadır. SuperPON'un temel mimari tasarımı şekil 2'de görülmektedir.

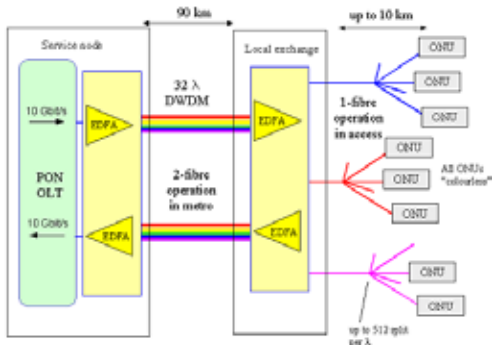


Şekil 2 : SuperPON'un genel mimarisi [7]

5.2. PIEMAN

PON sistemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışan bir başka çalışma grubu da PIEMAN'dır (www.ist-pieman.org). Birbirinden bağımsız kullanıcıların doğrudan 10Gbps aşağı akış ve 10Gbps yukarı akış erişimine sahip olacağı bir erişim ağı tasarlamayı amaçlamaktadır. Erişim ağlarının ulaşabileceği mesafeyi artırarak, erişim ve metro ağları birleştirmeyi, böylece ağ üzerindeki optik-elektronik dönüşümünü azaltmayı hedeflemektedir. Tasarlanan sistemin temel özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [8];

- Her kullanıcıya her iki yönde 10Gbps erişim imkânı sağlanacak.
- Her 10Gbps'lık dalga boyu için 512 ayrı kullanıcıya hizmet verilebilecek
- DWDM teknolojisinden faydalanarak arka plan ağında her biri 10Gbps taşıma kapasitesine sahip 32 dalga boyunda veri iletimi yapılabilecek.
- Optik yükselteçler kullanılarak optik-elektronik dönüşüm olmaksızın 100km mesafeye kadar hizmet verilecek.



Şekil 3: PIEMAN mimarisi [8]

PIEMAN'ın temel mimarisi şekil 3'de görülmektedir. PIEMAN projesi oluşturulacak sistemin sadece fiziksel katmanı ile ilgilenmektedir. Daha üst katmanlardaki düzenlemeler MUSE çalışma grubu tarafından yürütülmektedir.

6. Sonuç

Bu makalede PON sistemlerindeki standartlar ve geleceğe yönelik çalışmalardan bir kısmı özetlenmiştir. Gelecek erişim ağlarının uygulanması ile özellikle metro ağların ortadan kaldırılması planlanmaktadır. Bu sayede operatörler, bakım ve güç sağlanması gereken aktif ara eleman sayısını azaltılmayı öngörmektedirler. WDM ve optik yükselteç teknolojileri sayesinde var olan PON sistemlerinin genişletilmesi planlanmaktadır. Diğer taraftan değişik araştırma laboratuvarları 100Gbps iletim kapasitesine olanak tanıyan optik cihazların ilk sürümlerini üretmeye başlamıştır. Bu yakın gelecekte daha gelişmiş standartlara ihtiyaç doğuracaktır. PON sistemlerinin fiziksel katmandaki bu gelişmesinin yanında güvenlik ve üst katmanların kontrolü için standartlarında geliştirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Koonen A. M. J. , "Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When?" Proceedings of the IEEE, vol. 94, no. 5, pp. 911–934, May 2006.
- [2] <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/e>
- [3] <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/>
- [4] <http://wwwfsanweb.org/nga.asp>
- [5] Shea, D.P., Mitchell, J.E, "Long-Reach Optical Access Technologies" Network, IEEE, Volume 21, Issue 5, Sept.-Oct. 2007 Page(s):5 – 11
- [6] Hornung, S., Davey, R., Payne, D., Nessel, D. , "Evolution to next generation optical ac-

cess Networks”, Lasers and Electro-Optics Society, 2007. LEOS 2007. The 20th Annual Meeting of the IEEE, 21-25 Oct. 2007 Page(s):939 – 940

[7] Van de Voorde, I., Martin, C.M., Vandeweghe, I., Oiu, X.Z., “The SuperPON Demonstrator: An Exploration of Possible Evolution Paths for Optical Access Networks,” IEEE Commun. Mag., vol. 38, 2000, p. 74.

[8] Talli, G., Chow, C.W., Townsend, P., Davey, R., De Ridder, T., Qiu, X.Z., Ossieur, P., Krimmel, H.G., Smith, D., Lealman, I., Postie, A., Randel, S., Rohde, H., “Integrated Metro and Access Network: PIEMAN,” Proc. NOC pp. 493–500, July 2007, Sweden,