

Pasif Optik Ağlar ve WDM-PON Gelişimi

Merve Yıldız, Özgür Can Turna, Muhammed Ali Aydın

İstanbul Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
merve.yldz1@gmail.com, ozcantur@istanbul.edu.tr, aydinali@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 ve Dalgaboyu Bölmeli Çoklamalı Pasif Optik Ağ (Wavelength Division Multiplex – Passive Optical Networks “WDM-PON”) hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca WDM-PON için geliştirilmiş olan Dinamik Bantgenişliği Tahsisatı (Dynamic Bandwidth Allocation “DBA”) algoritmaları kısaca açıklanarak, sistemin geleceği hakkındaki düşüncelere yer verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Pasif Optik Erişim Ağı, PON, WDM-PON, Dinamik Bantgenişliği Tahsisatı Algoritmaları

Passive Optical Networks and Developments in WDM-PON

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 Wavelength Division Multiplex – Passive Optical Network (WDM-PON) is explained. Besides Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) algorithms for WDM-PON are explained, and then future of the system is mentioned shortly.

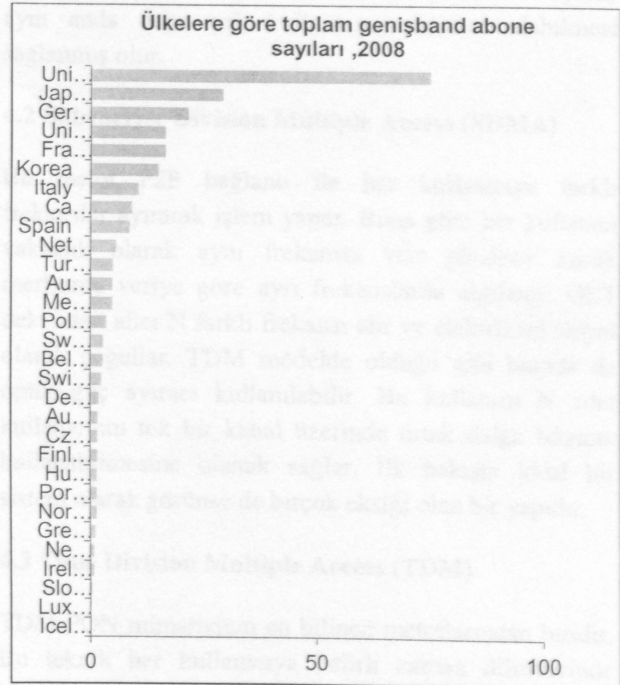
Keywords: Passive Optical Network, PON, WDM-PON, Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) Algorithms

1.Giriş

Kullanım alanlarının genişlemesi ile internete olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Buna karşılık servis sağlayıcıların altyapıları bu istekleri karşılamakta yetersiz kalmakta, artan istekleri karşılayabilmek, sistemlerin sürekli olarak güncellenmesi gerekmektedir. Bu güncellemeler, hem devam eden servisi engellememeli hem de servis sağlayıcıya minimum maliyet yüklemelidir.

İlk olarak telekomünikasyon sektöründe kendini göstermiş olan çift sarmallı bakır kablolar Gelişimin ilk yıllarında kullanılmış, ancak sistemin ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalarak yerini fiber kablolarla bırakmıştır. Fiber hatlar veriyi ışık spektrumu kullanarak iletmektedir. Passive Optical Network (PON) konusu ise bu fiber optik kablolar ile yüksek miktardaki veriyi, en kısa sürede en uzun mesafeye taşımaya amaçlanmaktadır[1]. Yapılması tasarlanan bu tarz sistemlere Fiber To The x(FTTx) denilmektedir. Burada sondaki “x” harfi fiber kablunun ulaştığı son noktaya göre değişmektedir. FTTH, FTTP, FTTC, FTTB... gibi isimlendirmeler kullanılmaktadır. Burada örneğin “B” “building”, “C” “Cabinet”, “P” “Premises”, “H” “Home” manasında fiber hattın sonlandırıldığı noktayı temsilen kullanılmaktadır[2]. FTTH teknolojisi her kullanıcıya optik bir sonlandırıcı atamayı öngörse de şuan ki koşullar buna izin vermemektedir. Yapılan çalışmalar ile yakın gelecekte bu yapıya ulaşılacak hedeflenmektedir.

Dünya’da ülkeler mobil ve sabit geniş bant alt yapısına çok önem vermektedir. Güney Kore ve Japonya’nın önde olduğu ve Amerika, Almanya gibi Avrupa ülkelerinde altyapıda evlere kadar bir Fiber Optik döşeme çalışmaları hızla devam etmektedir.



Şekil 1. Ükelere göre geniş bant abone sayıları[1]

Bu makalede ise bu konuda geliştirilmiş olan bazı teknolojiler hakkında bilgi verildikten sonra, üzerinde araştırmalar devam eden PON sistemlerinin önemli bir geliştirmesi olan WDM-PON konusuna değinilecektir. WDM-PON mimarisi özetlendikten sonra ise, WDM-

Akademik Bilgisim 2011, İnönü Üniversitesi, Malatya : 02-04 Subat 2011'de bildir olarak sunulmuştur.

PON'u dinamik hale getirebilecek basit algoritmalarından örnek verilecektir.

2.Optik Bağlantı Türleri

2.1 P2P (Noktadan Noktaya Bağlantılar)

Bu bağlantı türünde merkezi bir ofis üzerinden her kullanıcıya ayrı ayrı fiber optik hat döşenmektedir[1]. Bu hat sayesinde alıcılar, yüksek kapasitede internete sahip olacaktırlar. Sistemin avantajı her türlü geliştirmeye açık olması ve yüksek kapasite sağlamasıdır. Dezavantajı ise her kullanıcıya ayrı bir fiber hat döşenmesi yüksek maliyet gerektirmesidir.

2.2 P2MP-Active Star(Aktif Yıldız Bağlantılar)

Bu bağlantı türünde ise merkez ofisten çıkan fiber hat belirli bir düğüm noktasına kadar gitmekte ve servis alıcılar bu düğüm üzerinden hizmet almaktadırlar. Bu sistemin avantajı merkezden gelen fiber hattın paylaşımı sayesinde daha az kablo kullanımından maliyet daha azdır. Dezavantajı ise aradaki düğümün bakım maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

2.3 P2MP-Passive Star(Pasif Yıldız Bağlantılar)

Bu bağlantı türünün aktif yıldız bağlantılardan farkı, düğüm noktasındaki aktif elemanın kaldırılıp yerine pasif bir dağıtıcı elemanın konulmasıdır. Sistemin avantajı aradaki aktif elemanın bakım maliyetinden kurtulmuş olunmasıdır.

3.PON Sistemleri ve Tarihsel Gelişimi

1980 yılların sonunda geliştiren PON mimarisi, ilk olarak telekomünikasyon sistemlerinde kullanılmıştır. Bu ve devam eden yıllar boyunca artan bant genişliği ihtiyacına karşılık sistem sürekli olarak güncellemelerle geliştirilmiştir.

En önemli gelişmelerden birisi ise Full Service Access Network (FSAN) topluluğunun oluşturulmasıdır. FSAN'ın en önemli geliştirmesi ise, dünya üzerinde bir ekonomik gösterge çizelgesi oluşturarak, düşük maliyetli ve ortak kullanımı sağlayabilecek bir sistem geliştirmeleridir. Bu sistem PON ve DSL tabanlıydı. Daha sonraları FSAN belirli çalışma grupları halinde çalışmıştır. En önemlisi ise OAN (Optical Access Network) grubu ile International Telecommunication Union Standart Sector (ITU-T) adıyla sistemler için standartları geliştirmesidir.

Bir PON sistemi, OLT (Optical Line Terminal) optik hat sonlandırıcı, ONU(Optical Network Unit) optik ağ ünitesi ve bunların arasındaki bilgi iletişimini sağlayan bir ayraç ve bunları birbirlerine bağlayan fiber kablolardan oluşmaktadır. Sistemde OLT den çıkan bilgi ayraç sayesinde tüm ONU'lara dağılarak iletişim sağlanır. Dağıtılan bilgiler arasında ONU'ların kendine ait olmayan bilgileri almamasını sağlamak dikkat edilmesi gereken en önemli mevzulardan biridir. Bunun dışında tüm ONU'lardan gelen bilgi ayraçtan sonra tek bir fiber kablo ile OLT'ye iletileceği için bilgilerin çakışmaması da gerekmektedir.

4.PON Sistemleri ile Çoklu Erişim Yöntemleri

4.1 Code Division Multiple Access (CDMA)

4. nesil iletişim teknolojisi olarak da adlandırılan bu teknoloji yüksek hızdaki verinin kablosuz taşınabilmesine olanak verir. Hücreli iletişim teknolojilerinden biridir. CDMA her bir kullanıcıya özel bir frekans atamaz. Bu sistem 0 ve 1 bitlerini kullanarak kullanıcıların eş zamanlı olarak aynı frekans spektrumunun tamamını kullanmalarına olanak verir. Her kullanıcıya özel bir sayısal sisteme göre kodlanarak oluşturulan aktif ve eşsiz bir iletim kodu atanır. Böylece aynı anda daha çok kullanıcının hizmet alabilmesi sağlanmış olur.

4.2 Subcarrier Division Multiple Access (SDMA)

Bu metod P2P bağlantı ile her kullanıcıya farklı frekanslar ayırarak işlem yapar. Buna göre her kullanıcı yaklaşık olarak aynı frekansta veri gönderir ancak merkezde veriye göre ayrı frekanslarda algılanır. OLT deki basit alıcı N farklı frekansı alır ve elektriksel sinyal olarak çoğullar. TDM modelde olduğu gibi burada da optik güç ayırıcı kullanılabilir. Bu kullanım N adet kullanıcının tek bir kanal üzerinde ortak dalga boyunu kullanabilmesine olanak sağlar. İlk bakışta ideal bir sistem olarak görünse de birçok eksiği olan bir yapıdır.

4.3 Time Division Multiple Access (TDM)

TDM-PON mimarisinin en bilinen metodlarından biridir. Bu teknik her kullanıcıya belirli zaman dilimlerinde hizmet almasını amaçlar. Her kullanıcı kendine ayrılan süre içerisinde bant genişliğinin tamamını kullanma hakkına sahip olur. Sistemde birden fazla kullanıcıya aynı anda ulaşılabilmek için pasif optik ayraç kullanılır.

Merkez ofisten gelen fiber kablo bu ayraçlar sayesinde 1/N olacak şekilde N adet aboneye hizmet verir. OLT ise

N adet kullanıcıya gidecek olan verilerin çakışmasını engeller. Verinin ulaşması için ise kullanıcı tarafında ONU ile haberleşir.

Kullanışlı bir özellik olarak ise ONU'lerden bazılarının çok fazla veri göndermesi gerektiği zamanlarda, diğer ONU'larda o kadar veri yoksa birine ayrılmış olan zaman diğer ONU'ya aktarılır. Bu özelliğe Dinamik Bant Genişliği Tahsisatı (Dynamic Bandwidth Allocation /DBA) denilir. Bu işlemi sağlayan birçok DBA algoritması bulunmaktadır. DBA algoritmaları PON etkinliğini artırsalar da kullanıcı istekleri her zaman aynı olmadığı için algoritmanın kontrolü kolay değildir. Bantgenişliğine ihtiyaç arttıkça QoS(Quality of Service)'a aktarım yapılabilir. Örneğin veri göndermek için sırada bekleyen kullanıcılara daha fazla tampon bellek ayrılması gibi. Ancak QoS her mimari için uygun değildir[3][4].

4.4 Wavelength Division Multiple Access(WDM)

WDM-PON, PON sistemlerinin en aktif metodudur. Bu modelde, dalga boyunu birden fazla kullanıcıya bölen TDM'in aksine aboneye belirli bir dalga boyu tahsis edilmiştir. Bu demektir ki her abone diğer kullanıcılardan bağımsız olarak istediği herhangi bir zamanda OLT'ye veri gönderebilir. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse WDM de kullanıcılar arasında bir etkileşim ya da eşleme yoktur. Bu sayede paylaşım konusunun çıkardığı sorunlar elenmiş olur.

Yapı olarak ise; WDM çoklama yapmak için optik ayraç kullanılır ve merkez ofiste OLT'lere gelen signallerin toplanması için toplayıcı bulundurulur. WDM de birebir bağlantı olduğu için QoS'a ve MAC algoritmalarına ihtiyaç yoktur.

WDM'in avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. ONU'de kullanılan mux/demuxlar için baştan belli bir dalgaboyu tanımlaması yapılmalıdır. Ayrıca OLT N kullanıcıya ayrı bağlantı tanımlayabilmek için N adet ileticiye ihtiyaç duyar.

WDM PON mimarisi aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir[5]:

- Ayarlanabilir Lazer
- Bölünmüş Genişbant Kaynağı
- Yansıtılmış Mimari
 - ✓ Fabry-Perot Lazer
 - ✓ Tek Kutuplu RSOA
 - ✓ Kutupsuz RSOA
 - ✓ Yansıtılmış EAM

5. WDM DBA Algoritmaları (Dynamic Bandwidth Allocation)

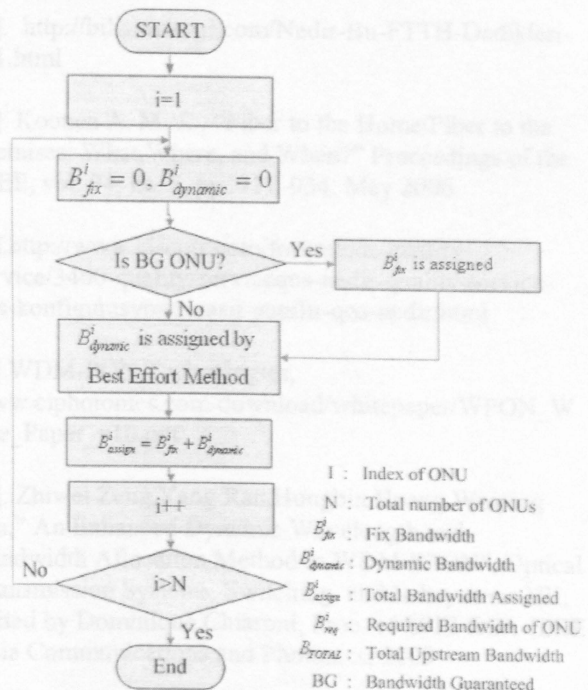
İnternet sistemlerinde her kullanıcı aynı işlemleri yapmaz. Dolayısıyla her kullanıcıya aynı miktarda bantgenişliği ayrılması gerekmemektedir. WDM DBA algoritmaları WDM-PON'un daha verimli şekilde kullanılmasını sağlayan algoritmalarlardır.

Veri iletimi ONU'ların sorgu (Request) mesajı ile isteklerine karşılık, OLT'lerin cevap (Gate) mesajı ile uygun cevabı vermesi ile başlar. DBA algoritmalarında ise Report mesajının tüm ONUlardan toplanmasıyla, OLT çalışmaya başlar, atanacak bantgenişliği, başlama zamanı ve iletim pencere boyutlarını hesaplar her ONU için. ONU'da ayrılmış olan bantgenişliği iki aşamadan oluşmaktadır:

$$B_{\text{assign}}^i = B_{\text{fix}}^i + B_{\text{dynamic}}^i$$

- B_{assign}^i :Toplam atanmış bantgenişliği
- B_{dynamic}^i :Dinamik bantgenişliği
- B_{fix}^i :Fix bantgenişliği
- B_{req}^i :Gereken bantgenişliği

İlk olarak her ONU'ya B_{fix}^i atanır. ONU'lar tarafından kullanılmadığından artan bantgenişliği toplamı, ihtiyaçlarına göre diğer ONU'lara dinamik olarak ayrılır B_{dynamic}^i . En iyi metod $B_{\text{dynamic}}^i = B_{\text{req}}^i$ atanmasıdır. Toplam gereken bant genişliği böylece $\sum_{i=1}^N B_{\text{req}}^i$ olur ve eklenen gereken bant genişliği ile $B_{\text{fix}}^i = \sum_{i=1}^N B_{\text{req}}^i - \sum_{i=1}^N B_{\text{fix}}^i$ olur[6].



Şekil 2. Basit DBA Algoritması[6]

6. Yeni Nesil Çalışmalar

İnternetteki ve günlük hayattaki uygulamaların talep ettikleri bant genişliği ihtiyacının sürekli artması ağ sistemlerinin gelişimini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle sistemin kapasitesi, hizmet verebildiği kullanıcı sayısı, erişim mesafesini artırmak yapılan çalışmaların başında gelmektedir [7]. Şu anda var olan PON standartları 20km mesafede 16(BPON), 32 (EPON), 64(GPON) ayırıştırma ile çalışabilmektedir. PON sistemlerin daha fazla kullanıcıya hizmet verebilmesi için daha uzak mesafelere erişebilecek ve daha fazla ayırıştırma yapabilecek sistemler tasarlanmaktadır[1].

6.1 Hibrid TDM/WDM PON

TDM-PON'dan WDM'e geçiş yapılabilmesi için, kullanılan cihazların değiştirilmesi servis sağlayıcılar için büyük bir yatırım gerektirmektedir. SUCCESS-HPON cihazların ortak kullanımını sağlamaya çalışsa da, bu şekilde tasarlanmış olan sistem karmaşık bir yapıda olmaktadır. Hibrid TDM/WDM PON çalışması ise, aradaki geçiş sürecinde var olan sistemleri olumsuz etkilemeyecek fikirler üzerinde çalışmaktadır.

6.2 Multistage PON

AWG (array waveguide grating) tabanlı WDM PON'un basamaklı yapısından oluşmaktadır. Gerçekleştirilmesi tasarlanan bu sistemde ayırıştırma oranı artırılarak daha fazla aboneye hizmet verilmesi düşünülmektedir[8].

6.3 Super PON

Optik saydamlıktan ödün vermeden, ayırıştırma oranını arttırarak, hem abone sayısını hem de ulaşılan mesafeyi arttırmayı amaçlamaktadır. Super PON TDM ile tek kanallı mimari kullanarak hizmet verebilirken, WDM ile de kaynakların ortak kullanımını sağlayarak, farklı kullanıcılara istekleri doğrultusunda farklı dalgaboylarında hizmet vermektedir. Toplamda 2048 ayırıştırma yapabilirken, erişilen mesafeyi de 10km'den 100km'ye çıkarmaktadır[8].

6.4 Success HPON

TDM / WDM PON hibrid modelinin yeni kuşağı olarak düşünülmektedir. TDM-PON'u daha etkin ve düzgün çalışır hale getirebilme düşüncesinden ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki 3 özelliği temel alarak oluşturulması düşünülmektedir[9]:

- **Geriye Uyumluluk:** Kullanılması devam eden TDM teknolojisiyle, yeni teknoloji olarak üretilen WDM'in aynı ağ içersine dahil edilmesidir.
- **Kolay Yükseltilebilirlik:** TDM-PON dan, WDM-PON'a kolay geçiş sağlamasıdır.

- **Koruma/Onarım Uyumluluğu:** Ev ve iş kullanıcılarına aynı ağ içersinde dahil ederek, isteklerini karşılayabilmelidir.

7. Sonuç

Bu çalışmada gelişen PON teknolojileri hakkında bilgi verilmiş ve üzerinde çalışmalar devam eden WDM-PON yapılarından bahsedilmiştir. WDM-PON için DBA algoritmaları her kullanıcıya gereken bantgenişliğinin ayrılmasını sağladığı için gelecekte üzerinde çalışmaların devam etmesi gerektiği önemli konulardan biri olacağı düşünülmektedir. Özellikle cihazlara uzaklık, sistemin hayata geçirilmesi, DBA algoritmaları konuları üzerinde çalışılmaktadır[10].

Japonya, Güney Kore ve kısmen Amerika Birleşik Devletleri ağ altyapılarını WDM-PON üzerine geliştirmeye devam ederken, Avrupa ülkeleri sistemin gerektirdiği maliyet dolayısıyla geçiş sürecine başlamamışlardır. Türkiye açısından da durum şu an için diğer Avrupa ülkelerinden farklı değildir. Yapılacak çalışmalarla WDM-PON teknolojisinin TDM-PON'un maliyet avantajını daha fazla bantgenişliği ve daha uzak mesafede erişim oranları ile geride bırakabilecek şekilde gelişmesi gerekmektedir.

Kaynaklar :

- [1]. Özgür Can Turna, M.Ali Aydın, A.Halim Zaim, "Pasif Optik Erişim Ağlarının Gelişimi", Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri 11-13 Şubat 2009 Harran Üniversitesi, Şanlıurfa
- [2]. <http://bilisimdergi.com/Nedir-Bu-FTTH-Dedikleri-9-1.html>
- [3]. 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.
- [4].<http://www.ciscotr.com/forum/qos-quality-service/3460-quality-serviceqos-nedir-quality-service-qos-konfigurasyonu-nasil-yapilir-qos-nedir.html>
- [5].WDM-PON Technologies, www.ciphotonics.com/download/whitepaper/WPON_White_Paper_v10.pdf
- [6]. Zhiwei Zeng, Yang Ran, Hongbin Huang, Weiping Liu, "An Enhanced Dynamic Wavelength and Bandwidth Allocation Method in WDM-EPON", Optical Transmission Systems, Switching, and Subsystems VII, edited by Dominique Chiaroni, Proc. of SPIE-OSA-IEEE Asia Communications and Photonics, 2009
- [7]. Shea, D.P., Mitchell, J.E, "Long-Reach Optical Access Technologies" Network, IEEE, Volume

[8]. Martin Maier, "WDM EPON: Future Applications and Services"

[9]. Fu-Tai An, David Gutierrez, Kyeong Soo Kim, Jung Woo Lee and Leonid G. Kazovsky, "Success -HPON: A

Next Generation Optical Access Architecture for Smooth Migration From TDM-PON to WDM-PON"

[10]. Fu-Tai An, David Gutierrez, Kyeong Soo Kim, Leonid G. Kazovsky and Salvatore Rotolo, "FTTH Standards, Deployment and Research Issues", 2005