

YEREL OPTİK AĞLARDA FİZİKSEL KATMANDAKİ PARAMETRELERİN İZLENMESİNE YÖNELİK ARAÇLARIN GELİŞTİRİLMESİ

Kıvılcım Yüksel,
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Gülbağçe Kampüsü, 35430, Urla, İzmir
Tel: (232)-7506540, Fax: (232)-7506599
kivilcimyuksel@iyte.edu.tr

ÖZET:

Günümüzde fiber altyapısının son kullanıcıya kadar ulaştığı “*Fiber-to-the-home (FTTH)*” teknolojisi ve bu teknolojiye altyapı sağlayan Pasif Optik Ağların (“*Passive Optical Networks, PONs*”) kullanımı giderek artmaktadır.

PON yapısında, merkezi ofisten (“*Central Office, CO*”) gelen tüm trafik tek bir fiberle sahadaki (“*outside plant*”) bir noktaya taşındıktan sonra, sahadaki bir bölücü (“*splitter*”) vasıtasıyla pek çok fiber koluna ayrılır. Bölücü çıkışındaki her bir fiber kol ayrı bir aboneye bağlantıyı sağlar. Bu tarz bir yapı, sahadaki aktif (güç kaynağı gerektiren) cihazların kullanım ihtiyacını ortadan kaldırdığı için tercih edilmektedir. Telekomünikasyon operatörleri yüksek servis kalitesi sağlayabilmek için PON altyapısını sürekli olarak izleyen bir test ölçüm sistemine (“*PON monitoring system*”) ihtiyaç duymaktadır. Bu ölçüm sistemi, fiber altyapısının ilk kurulumu sırasında gerçekleştirilmesi zorunlu testlerin yanı sıra, ağın işletimi sırasındaki bakım-takip (“*maintenance, surveillance*”) faaliyetlerinin yerine getirilmesi ve oluşan hataların yerinin tespitinde kullanılabilir. Etkin bir şekilde kullanılacak bir fiziksel altyapı ölçüm ve takip sistemi, operatörün işletme masraflarını önemli ölçüde azaltabilir. Bu nedenle, dünya üzerinde pekçok ar-ge grubu ve telekom operatörünün, PON üzerinde uygulanabilecek gerçek zamanlı ölçüm sistemleri (*PON monitoring* sistemleri) hakkındaki araştırma ve yayınları son 10 yıldır gittikçe artmaktadır.

Bu makalede öncelikle Pasif Optik Ağların (PON) yapısı ve avantajlarından bahsedilecektir. Daha sonra PON işletimi ile ilgili gereksinim ve zorluklar açıklanacaktır. Gittikçe popülerlik kazanan *PON monitoring* yöntemleri hakkında literatürde önerilmiş çözümler tanıtılacaktır. Son olarak, bu alanda çözüm bekleyen ve ileriye dönük çalışma gerektiren noktalar tartışılacaktır.

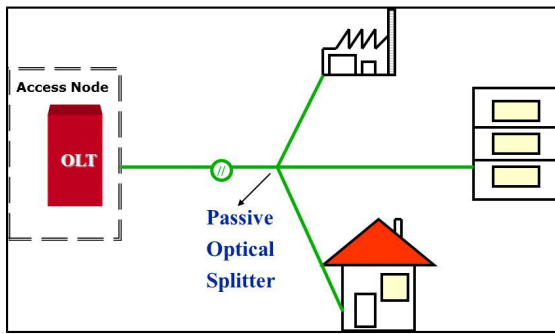
Anahtar kelimeler: Optik yerel ağlar, Pasif Optik Ağlar, FTTH, Optik ağlarda test-ölçüm, PON monitoring.

PASSİF OPTİK AĞLAR (PASSIVE OPTICAL NETWORKS, PONs)

Günümüzün yerel ağlarında, kullanıcıların ve yeni servis çeşitlerinin gerektirdiği yüksek hızlı iletişim talebini karşılayabilmek için, bakır kablo ve koaksiyel kablo tabanlı sistemlerden fiber tabanlı teknolojilere hızlı bir geçiş yaşanmaktadır. Fiber altyapısının son kullanıcıya kadar ulaştığı “*Fiber-to-the-home (FTTH)*” teknolojisi, tüm dünyadaki pek çok ülkede teknik olarak yeterli ve yaygın kullanılabilir bir seviyeye ulaşmıştır. IDATE istatistiklerine göre Avrupa Birliği ülkelerinde, 2012 yılının ilk yarısında, FTTH/B (*B*

harfi *bina* kelimesini temsil etmektedir) abone sayısı 5.95 milyon ve altyapısı hazır bina sayısı 32 milyonu bulmuştur. Türkiye FTTH/B abone sayısında %82 lik bir artışla, ön sıralarda yer alan bir büyüme sergilemektedir.

Yerel ağlardaki bu değişim, fiber altyapısı olarak Pasif Optik Ağların (*PONs*) kullanımını da önemli ölçüde arttırmıştır. Şekil-1’de gösterildiği üzere PON yapısında, merkezi ofisten (“*Central Office, CO*”) gelen tüm trafik tek bir fiberle sahadaki (outside plant) bir noktaya taşındıktan sonra, sahadaki pasif optik bölücü (“*passive optical splitter*”) vasıtasıyla pek çok fiber koluna ayrılır. Bölücü çıkışındaki her bir fiber kol ayrı bir aboneye bağlanır. Ağın alacağı isim, fiber kolun ulaştığı abonenin konumuna göre değişir: *Fiber-to-the-Curb (FTTC)*, *Fiber-to-the-Building (FTTB)*, *Fiber-to-the-Home (FTTH)*.



Şekil-1: Pasif Optik Ağ jenerik yapısı.

OLT: Optical Line Termination

Passive optical splitter: Pasif optik bölücü

Bu tarz bir yapının avantajları şöyle sıralanabilir:

- Bölücü noktaya kadar kullanılan fiber ve merkezi ofisteki cihazların (dolayısıyla kurulum masrafinin) bir grup abone tarafından paylaşılması.
- Sahada güç kaynağı gerektiren cihaz bulunmaması (bakım ve işletme kolaylığı).
- Fiber altyapının modülasyon ve taşınan bilgi formatına şeffaf (transparent) olması.

PON standartları açısından son 15 yılda kaydedilen gelişmeler bu teknolojinin hayata geçirilmesini (“*deployment*”) hızlandıran önemli bir faktördür. İki ana PON standard ailesi mevcuttur. Gigabit Ethernet PON (GEAPON) IEEE tarafından, “Ethernet First Mile” projesi kapsamında oluşturulmuştur ve standart 802.3 Ethernet framerlerini simetrik 1Gbps hızda kullanır. 32 adet kullanıcıyı maksimum 20 km mesafeye kadar destekler. IEEE 2009 yılında 10 Gbps hıza ulaşmayı sağlayan 802.3av standardını onaylamıştır. Bir diğer PON standardı ise ITU-T G.984 serisidir. Tipik olarak 64 adet aboneyi 20 km mesafelere kadar, 2.5 Gbps hızda destekler. Standartlarda PON monitoring faaliyetleri için 1625-1675 nm aralığı (U-band) tahsis edilmiştir.

Yeni nesil PON standartları (“*Next-Generation PONs, NG-PON*”) üzerinde devam etmekte olan çalışmalar sayesinde yüksek bantgenişliği gerektiren yeni servislerin, daha uzak mesafelere ve daha fazla sayıda kullanıcıya taşınması mümkün olacaktır. Yeni nesil PON yapıları dalgaboyu çoklamalı anahtarlama (“*Wavelength Division Multiplexing, WDM*”) gibi gelişmiş teknolojileri de PON yapısı içerisine dahil etmektedir.

Bu süreçte, Pasif Optik Ağların fiziksel altyapısının (“*physical infrastructure*”) izlenmesi (*monitoring*) oldukça dinamik ve önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Son birkaç yılda bu alanda yayımlanan bilimsel makalelerin sayısı dikkate değer bir

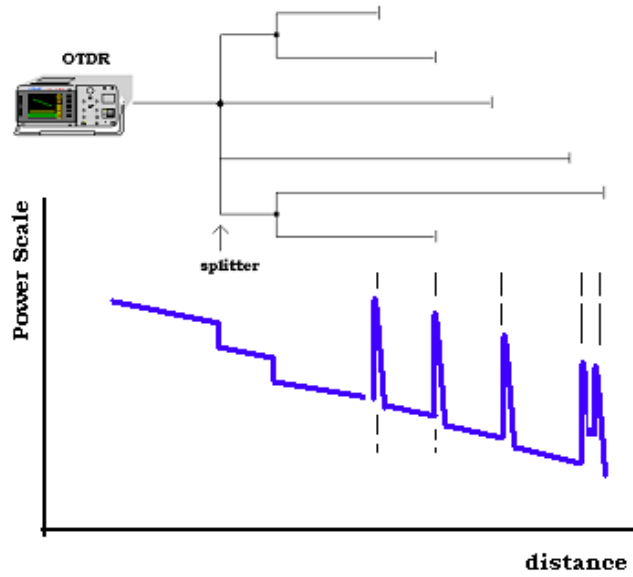
şekilde artmaktadır. PON fiziksel altyapısının hızlı, gerçek zamanlı, otomatik sistemlerle bir merkezden izlenmesi telekom operatörüne çok önemli avantajlar sağlar:

- Monitoring sistemi kullanan operatör, imzaladığı anlaşmalar (“*service level agreements*”) gereği yerine getirmekle yükümlü olduğu servis kalitesini sağlamak için, fiber altyapısında meydana gelen bir hatayı (“*fault*”) mümkün olduğunca çabuk, sebebi ve yeriyle tespit edip tamir edebilir.
- Fiber altyapısında bir kaza sonucu oluşan hasarların yanısıra ağ elemanlarının zamanla yıpranması (“*aging*”) ve çevresel faktörlerin (su sızıntısı, yüksek sıcaklık, güneş ışınlarına maruz kalma vs) neden olduğu sorunlar da gerçek zamanlı izlenip zamanında müdahale edilebilir.
- Yeni abonelerin ağa eklenmesiyle ağda meydana gelen fiziksel değişikliklerden (örneğin yeni konnektör kayıpları) operatörün adım adım haberi olur, veritabanı bu bilgilere göre sürekli güncellenir.
- Servis kesintilerinin yaratacağı finansal kayıplar önlenmiş olur.
- Fiziksel altyapısı üzerinde servis garantisi verebilen operatör, sürekli bir kapasite artışı ve rekabetin yaşandığı yerel ağlarda, rakiplerine karşı iyi bir pozisyon elde eder.
- Önleyici takip /bakım faaliyetlerinin amacı altyapı komponentlerini gerçek zamanlı izleyerek, servis kesintisi oluşmadan *önce* hatayı düzeltici önlemler almaktır. Fakat ağ üzerinde herhangi beklenmedik bir hata oluşsa dahi otomatik izleme sistemi, tamir ekiplerinin doğru lokasyona yönlendirilmesi işine yarar. Aksi taktirde, kalifiye bir ekip oldukça pahalı ölçüm cihazları kullanarak ve uzun süreli mesai harcayarak hatanın ağ üzerindeki yerini aramak zorunda kalır ki bu da operatör için azımsanmayacak ek işletim maliyetine (“*Operational expenses, OPEX*”) neden olur.

Günümüz PON sistemlerinde fiziksel altyapıdaki herhangi bir hata, üst seviyelerde (“*upper layers*”) servis kesintisine sebep olmadan önce Ağ Yönetim Sistemi (“*Network Management System, NMS*”) tarafından farkedilememektedir. Bu tip bir sistem, fiziksel hata ancak uygulamalar seviyesinde paket kayıpları ve servis kesintisi yarattığında operatöre uyarı alarmı verebilir.

Ayrıca PON, yapısı gereği konvansiyonel test ölçüm cihazlarının (örneğin *OTDR, Optical Time Domain Reflectometer*) alışıldık tarzdaki kullanımını mümkün kılmaz. PON monitoring sistemlerindeki birincil zorluk farklı ağ kollarında meydana gelen sorunların yerinin ve sebebinin tespit edilmesinde yaşanır. Pasif bölücü komponentin varlığından dolayı, merkezi ofisten alınan ölçümler pek çok koldan gelen sinyalin toplamıdır ve özel bir şekilde değerlendirilmesi gerekir.

Şekil-2’de PON merkezi ofisinden alınmış bir OTDR izi (“*OTDR trace*”) gösterilmiştir. Kollardan herhangi birinde meydana gelen bir kayıp (“*loss*”) veya fiber kırığı, OTDR izi üzerinde bir değişiklik yaratsa bile sorunun hangi dalda olduğunu tespit etmek için ek verilere ihtiyaç vardır.



Şekil-2: PON merkezi ofisinden ölçülen OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) izinin değerlendirilmesi (uzaklık yatay eksen, ölçülen optik sinyalin gücü de düşey eksenle gösterilmiştir). İz üzerinde bölücü (“*splitter*”) kayıpları ve her bir dalın sonundaki yansımalar görülmektedir.

Konvensiyonel test cihazları direk olarak kullanılamadığı için, telekom operatörünün, ağ üzerinde bakım-takip (“*maintenance & surveillance*”) stratejileri uygulayabileceği gelişmiş PON monitoring sistemlerine ihtiyacı vardır. Bu tip bir monitoring sistemi sayesinde ağ operatörü, zaman tabanlı bir bakım takvimi (“*time-based maintenance schedules*”) yerine, durum tabanlı (“*condition-based maintenance*”) bir bakım-onarım takvimine geçiş yapabilecektir. Bu da optik ağ işletim masraflarının azalmasına (“*OPEX reduction*”) katkıda bulunur çünkü fiziksel altyapıda meydana gelen değişikliklerin ve hataların (fiber kırığı, kıvrılma kaybı, yanlış ya da kirli bağlantı noktaları, vs.) erken ve yerinde tespit edilip periyodik bakım sürecini beklemeden giderilebilir.

PON MONITORING ÇÖZÜMLERİ

Yukarıda bahsedilen PON monitoring fonksiyonu ile ilgili sorunu çözmek için pek çok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler arasında öne çıkanlar şöyle sıralanabilir:

- Her bir aboneye tahsis edilmiş müstakil mini-OTDR kullanılması [1],
- Harici kavite lazer kaynağı (“*external cavity laser source*”) [2-3], veya optik kodlayıcı aynalar [4] kullanılarak, her bir aboneyi temsil eden RF *tag*ları (“*identification tags*”) ve optik olarak kodlanmış dizilerin kombine şekilde çalıştırılması: Bu yöntemde, merkezi ofiste her bir aboneye ait müstakil *tag*lar analiz edilerek, ilgili aboneye servis götüren fiber hattındaki sorunların tespit edilmesi amaçlanır.
- OTDR tabanlı sistemlere alternatif olarak OFDR (“*Optical Frequency-domain Reflectometer*”) cihazının sorgulayıcı ünite olarak kullanılması [5,12]: bu yöntemde her bir aboneye ait birbirinden farklı girişim frekansları (“*beat frequency*”) OFDR ünitesi tarafından ölçülür ve herhangi bir dalda hata

oluşması durumunda OFDR izi üzerindeki ilgili frekans bileşeni hatadan etkilenir.

- Honda et. al tarafından önerilen 1650 nm Brillouin-OTDR (B-OTDR) kullanılması [6]: bu yöntemde ağın her bir dalında farklı Brillouin frekans kaymasına ("*Brillouin Frequency Shift, BFS*") ve farklı karakterizasyona sahip fiberler kullanılmalıdır. Merkezi ofisteki B-OTDR ile tüm dalların BFS bilgisi sorgulanarak hatalı dal tespit edilir. Standart tek modlu fiber (SMF) kullanılmasını mümkün kılmadığı için bu yöntemin pratikte uygulaması oldukça zor ve pahalıdır.
- Abone tarafına yerleştirilen bir modülde üretilen ve aboneden merkezi ofise doğru gönderilen OTDR benzeri sinyallerle, dalların müstakil olarak test edilmesi [7]: Bu yöntemde, yukarıda sayılan merkezi yöntemlerden farklı olarak dağıtık ("*distributed*") bir yaklaşım uygulanmıştır. Yöntemin en önemli dezavantajı ise ağ kollarında bir kırık ve/veya yüksek kayıp olması durumunda abonelerde elde edilen test sonuçlarının merkezi ofise iletilmesi mümkün değildir.
- Seçmeli yansıtıcı elemanların ("*Switchable Reflective Element, SRE*") kullanılması [8]: Bu yöntemde her bir aboneye monitoring sinyalinin yansıtıcı bir komponent yerleştirilir. Merkezi ofiste ise monitoring dalgaboyunda çalışan bir OTDR kullanılır. Herhangi bir OTDR ölçümü için yalnızca bir abonenin SRE elemanı aktif konumdadır. OTDR izleri, ağ kurulumu sırasında henüz herhangi bir sorun yok iken ölçülmüş *referans* izlerle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda ağ üzerinde sonradan meydana gelen hatalar tespit edilir. SRE elemanının yarattığı yansıma üzerinde meydana gelen değişiklikler sayesinde ise hatalı kolların hangileri olduğuna karar verilir.

Yukarıda anılan belli başlı metotlara ilaveten başka pek çok ekip konu üzerinde çalışmalar yürütmekte ve yöntemler geliştirmeye çalışmaktadır. PON monitoring ve bakım-onarım faaliyetleri alanında, dünya genelinde uzak doğu ülkeleri, özellikle Japonya açık farkla öndedir. Japonya'da NTT'nin hayata geçirdiği AURORA [9] isimli test-ölçüm sistemi, dünya çapında ticarileşmiş monitoring sistemine ilk ve tek örnektir. AURORA sisteminde aktif fiber seçici ("*active switch*") elemanlar aracılığı ile optik bölücüler *by-pass* edilir ve test sinyali her bir ölçüm için ağın bir bölümüne aktarılır. Bu yöntem çalışma prensibi açısından basit olmakla beraber hayli masraflı ve sahada güç kaynağı kullanımı gerektirdiği için de uygulanabilirliği bazı ağ konfigürasyonlarıyla sınırlıdır.

İLERİYE DÖNÜK FİKİRLER VE ÇALIŞMA ALANLARI

OTDR tabanlı PON monitoring yaklaşımlarında ölçüm süresi önemli bir parametredir. Örneğin, 16 OLT (Optical Line Termination) kartı (her kartın 32 kullanıcıya servis sağladığı kabul edilsin) kapsayan bir merkezi ofis düşünülecek olursa ve her bir OTDR ölçümü için 3 dakikalık bir ortalama alma süresi gerektiği bilindiğine göre, söz konusu PON yapısını test etmek 1 gün sürer. Bu süre kritik bir hatanın tespiti ve giderilmesinde önemli bir gecikmeyi ifade eder. Daha hızlı ölçüm yapılan sistemler geliştirilmelidir.

Günümüzde pek çok araştırma grup ve telekom operatörü, düşük maliyetli ve etkin çözümler üzerine yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar. Bu çalışmalara son birkaç yıldır

eklenen yeşil ağlar (“*green networks*”) perspektifi, bu alandaki araştırma-geliştirme faaliyetlerine yeni bir boyut katmıştır. Broadband ağlar, yerel ağlarda sarfedilen enerji tüketiminin %75lik kısmını oluşturmaktadır [10]. Dolayısıyla, PON monitoring faaliyetlerinin enerji verimliliğini de bir parametre olarak değerlendirmelere dahil edilmelidir. Bir örnek ile açıklanacak olursa: Tipik bir PON merkezi ofisi 10 ila 50 bin eve servis sağlar [11]. Bu sayı yeni nesil PON sistemlerinde daha da artacaktır. Yaygın olarak kabul görmüş 1:64 lik bölücü oranı kullanıldığında bu rakam, merkezi ofiste 800 adet PON arayüz kartı kullanılması anlamına gelir. Böyle bir sistemin test ve ölçüm faaliyetlerinin etkin bir şekilde planlanmasının sonuç maliyetlerini önemli ölçüde etkileyeceği açıktır. Dolayısıyla farklı senaryolar için monitoring faaliyetlerindeki enerji tüketiminin optimum şekilde tasarlanması amaçlanmalıdır.

SONUÇ

Günümüzde PON monitoring faaliyetinin önemi tüm FTTH operatörleri tarafından kabul görse de, literatürde önerilmiş yöntemlerin hiçbiri şu ana kadar ticari bir ürün olarak optik ağlarda yaygın bir şekilde kullanılabilecek olgunluğa erişmemiştir.

Bu alanda ITU-T L serisi dökümanlar haricinde standartlaşmış yöntemler yoktur. Sonuç olarak, makalede tartışılan ihtiyaçlara cevap verecek şekilde geliştirilmiş PON monitoring sistemi şu özellikleri bünyesinde barındırmalıdır:

- => fiziksel altyapının gerçek zamanlı, sürekli, ve otomatik testini sağlamalıdır,
- => düşük maliyetli olmalıdır,
- => enerji verimliliği açısından optimize edilmelidir,
- => ağ üzerindeki performans kayıplarını hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit edebilmelidir,
- => fiziksel hatanın yerini tespit edebilmelidir,
- => ağ üzerindeki normal data akışını etkilememelidir (“*non-intrusive testing*”),
- => kullanıcı ekipmanlarından kaynaklanan hatalarla operatörün sorumluluğunda olan ağ üzerinde meydana gelen hataları ayırd edebilmelidir,
- => farklı ağ konfigürasyonlarında (örneğin farklı bit rate ve protokollerde) çalışmalıdır.

REFERANSLAR

- [1] B. Mulder, W. Chen, J. Bauwelinck, J. Vandewege and X.Z. Qiu, “Nonintrusive fiber monitoring of TDM optical networks,” J. Lightwave Technology, vol. 25, No. 1, pp. 305-315, Jan 2007.
- [2] Z. Wang, X. Sun, C. Lin, C-K. Chan and L-K.Chen, “A novel surveillance scheme for passive optical networks using spectral analysis” Proc. ECOC, We4. P.142, 2004.
- [3] M. Thollabandi, H. Bang, K-W. Shim, S. Hann, and C-S. Park, “An optical surveillance technique based on cavity mode analysis of SL-RSOA for GPON”, Journal of Optical Fiber Technology, vol. 15, pp. 451-455, 2009.
- [4] H. Fathallah; M. M. Rad; L. A. Rusch, “PON monitoring: periodic encoders with low capital and operational cost”, IEEE Photonics Tech. Lett. vol. 20, No. 24, pp. 2039-2041, 2008.

- [5] K. Yüksel, M. Wuilpart, V. Moeyaert, “Novel monitoring technique for passive optical networks based on Optical Frequency Domain Reflectometry (OFDR) and Fiber Bragg Gratings”, IEEE/OSA J. Opt. Comm. Netw. vol 2, No. 7, pp. 463-468, July **2010**.
- [6] N. Honda, D. Iida, H. Izumita, Y. Azuma, “In-Service Line Monitoring System in PONs Using 1650-nm Brillouin OTDR and Fibers With Individually Assigned BFSs,” J. Lightwave Technology, vol. 27, no. 20, pp. 4575 - 4582, **2009**.
- [7] J. Hehmann and T. Pfeiffer, “New monitoring concepts for optical access networks,” Bell Labs Tech. J., vol. 13, no. 1, pp.183–198, **2008**.
- [8]: K. Yüksel, S. Dupont, D. Hamoir, L. Robette, F. Foucart, **Device and method for real-time optical network monitoring**, EP 1578039 A1, European Patent Office, 21.09.2005.
- [9]: N. Tomita, et al., “Design and performance of a novel automatic fiber line testing system with OTDR for optical subscriber loops”, IEEE J. Lightw. Technol., vol. 12, no. 5, pp. 717-726, May **1994**.
- [10]: L. Zhang et al., *Energy-saving scheme based on downstream packet scheduling in ethernet passive optical networks*, Optical Fiber Technol., **2013**, article in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.yofte.2012.12.2007>
- [11]: J. Montalvo et al., Energy efficiency and cost optimisation of OTDR supervision systems for monitoring optical fiber infrastructures, International Conference on Networks, ICN 2013, **2013**.
- [12]: J. Montalvo, K. Yüksel, D. Sanchez Montero, M.Wuilpart, P. Mégret, and C. Vazquez, New Radio-Frequency Techniques for Individual Drop Fibre Monitoring and Temperature Sensing in PONs, 15th International Conference on Optical Network Design and Modeling, (ONDM 2011), pp.1-5, Bologne (IT), 8/02-10/02, **2011**.