

Yüksek Performans Elektronik Sistemlerde Optik Veri İletimi

^{1,2}Yusuf Karakus

¹Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Sakarya, Türkiye

²TÜBİTAK-BİLGEM

Özet

Bilgi, baş döndürücü bir hızla üretilirken, günümüz insanının ihtiyaçlarının karşılanması, üretilen bilgilerin iletiminin de o oranda hızlı olmasını gerektirmektedir. 20 yıl önce Mb/s'lerle ifade edilen elektrik tabanlı veri iletimi, bugün Tb/s seviyedeki optik iletime yerini bırakmaktadır. Optik iletimde bir taraftan veri merkezlerinin rafları arasında yüzlerce metre uzunlukta fiber optik kablolar kullanılırken; diğer taraftan bir süper bilgisayarın bir rafında kartlar arasında onlarca cm mesafede polimer dalgakılavuzları kullanılmaktadır. Bakırın direncinden dolayı iletim hızı tek bir iletim hattı üzerinden 5 Gb/s ile sınırlı iken, bugün polimer tabanlı dalga-kılavuzlarıyla 40 Gb/s'lere ulaşılmıştır. 1 Gb/s'lik bir elektrik iletimi için 0.81 mW bir güç gereksinimi oluyorken, optikte sadece 0.132 mW'lık bir güç gereksinimi olmaktadır. Optik iletimle çok daha fazla bilgi, daha büyük hızlarla, çok daha düşük kayıpla, daha düşük enerjile, daha ucuza iletilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Veri iletimi, optik arka panel, polimer, dalgakılavuzu, bant genişliği

Abstract

As data size continues to increase tremendously, its transmission should also be very fast to fulfill the needs of modern society. Two decades ago, the rate of data transmission used to be at the level of tens of Mb/s in electrical based transmission. Today, it has reached the level of tens of Tb/s with optical transmission. While tens of meters long fiber cables are used between the racks in data centers in long distance optical transmission, tens of centimeters long polymer waveguides are used between the boards in a rack of super computers in short distances. Because of the resistance of copper, the rate of electrical based data transmission is limited to 5 Gb/s. These days, by the use of multimode polymer waveguides, data rate has reached 40 Gb/s per line in optical transmission. Also, compared to the electrical one, optical transmission through polymer waveguides is less power consuming. While 0.81 mW power is needed for 1 Gb/s data transmission rate in electrical lines, only 0.132 mW is needed for the same data rate in optical lines. By optical transmission much more data is transmitted faster, cheaper, with lower power consumption, and less loss.

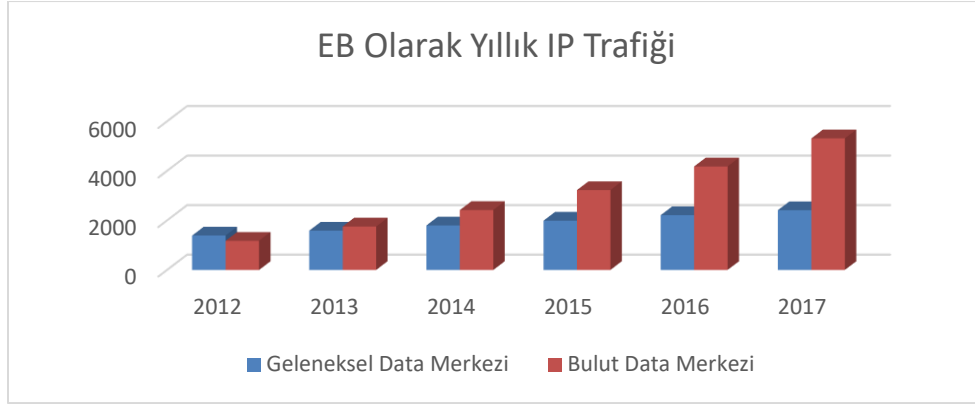
Key words: Data transmission, optical backplane, polymer, waveguide, bandwidth

1. Giriş

Global olarak bilginin üretimi baş döndürücü hızla devam ederken, 'big data' olarak ifade edilen aşırı derecede çok bilginin kayıt edilmesi, işlenmesi ve haberleşme sistemlerinde iletimi de o oranda büyüyen bir problem haline gelmektedir. Kısa sürelerde büyük bilginin tamamının kontrol

*Corresponding author: Address: Faculty of Science, Department of Physics Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: ykarakus@sakarya.edu.tr, Phone: +902642956084

edilmesi imkansız hale gelirken, üretilen bilginin miktarı ile mümkün kayıt kapasitesi arasındaki fark gittikçe artmaktadır. Global data merkezlerinin 2012 yılı ile 2017 yılları arasındaki internet IP trafiği ile ilgili istatistikleri veri artışına ışık tutması açısından ilgi çekicidir. Bu istatistiki bilgiler Şekil.1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Global Data Merkezlerindeki IP trafiği.

Global Data merkezinin verilerine göre 2012 yılında yıllık bilgi trafiği (internet üzerinden) bulut bilişim olarak 1177 exa bit (Eb) ve geleneksel bakır tabanlı bilgi iletimi 1389 Eb olmuştur. IP trafiği 2016 da 4178 Eb'e ve geleneksel iletimde de 2210 Eb'e çıkmış, bulut data trafiğinde exponansiyel bir artış gözlenmiştir [1]. Şekil 1 deki istatistiki verilere göre 2012 de 1 zeta bit (Zb) olan IP trafik 2020 yılında 2.3 Zb'e ulaşacaktır. Bu muazzam bilgi iletimi için yeni ortamlara ihtiyaç vardır.

Bilgi iletiminde, bugüne kadar gelen yerleşik teknoloji, bakır tabanlı elektrik iletimi iken bugün artık ağırlıklı olarak optik iletim kullanılmaktadır. Elektrik tabanlı iletim yüksek frekanslarda artan kayıp, çapraz-karışma (crosstalk) ve yüksek dielektrik katsayısı gibi sebeplerden dolayı artan bant-genişliği taleplerini karşılayamamış ve artan enerji gereksinimiyle bir darboğaza girmiştir. Veri iletim hızını artırmak için uygulanan dengeleme (equalization) gibi sinyal işleme teknikleri, hem devrenin karmaşıklığını artırmış [2], hem çok pahalı ve aşırı derecede güç tüketimine sebep olmuştur.

Buna karşı optik iletim, daha yüksek bant genişliğine sahip olması, daha düşük güç gereksinimine ve daha düşük kayba sahip olması ve de uzun vadede daha ucuz olması dolayısıyla elektrik iletiminden daha cazip hale gelmiştir. Bunların dışında optik iletimin elektromanyetik etkilerden etkilenmemesi, veri güvenliğini önemli ölçüde artırmıştır.

2. Optik İletimin Tarihçesi

Optik iletim 1980'li yılların sonunda, kıtalar arası haberleşmede, fiber kabloların kullanımı ile başladı [2]. 1990'ların sonunda data merkezlerinde raflar arasında ve 2010-2015 yıllarında bir rafta kartlar arasında fiber optik kabloların kullanımı ile devam etti. 2015 ten sonra da bir kart

üzerinde modüller ve hatta çipler arasında polimer dalga kılavuzları yoluyla optik iletim gittikçe daha kısa mesafelere doğru yayıldı [3-5]. Aşağıda, Tablo.1 de, optik iletimin tarihsel gelişimi gösterilmiştir.

Artan iyi performanslı optik ara bağlantı sayısıyla, optik iletimin hızında da o oranda artış olduğu, her dört yılda bir, IBM süper bilgisayarların hızındaki 10 kat artışla teyit edilmiştir [6].

Bilginin optik iletiminde büyük hızlara ulaşmanın mümkün olabileceğini, bilginin optik kaydındaki muazzam gelişmeler de desteklemektedir.

Tablo 1. Farklı ara-bağlantı seviyeleri için optik iletimin tarihçesi [5].

	Telecom WAN	Data com LAN	Raflar arası	Kartlar arası	Kart üzeri	Çipler arası	Çip üzeri
Mesafe	100 -km	10-2000 m	30+ m	1 m	0.1- 0.3 m	5 -100 mm	0.1 -10mm
Hat sayısı	1	1-10	-100	-100-1000	-1000	-10,000	-100,000
Optik iletim	80lerin so. 90ların ba.	90ların so.	1990-2010		2010-2015	2015 ten sonra	2020 den sonra

80 li yılların sonunda optik bilgi kaydında CD ve daha sonra DVD lerin kullanımı önemli bir kilometre taşı olmuş, CD ve DVD' ler insanın dijital hayatında önemli bir rol oynamıştı. Standart bir CD ye 780 nm lik lazer ile 700 MB lik ve bir DVD ye 400 nm lik lazer ile yaklaşık 8,5 GB lik veri kayıt edilebiliyorken [7], bugün 3D ve 5D tekniği ile çok daha fazla bilgi kaydı mümkün olmuştur. 3D ile aynı hacimdeki kayıt ortamına 1Tb [8] ve 5D tekniği ile de 360 Tb'lik bilgi kaydedilebilmektedir [9]. 5D tekniği ile küçük bir cam disk üzerine femtosaniye atmalı lazer ile 13.8 milyar yıl süreyle 360 Tb lik bilgi kaydı gerçekleştirilmiştir [9]. Bu başarı ile yüzlerce Tb'lik optik kayıt mümkün hale gelmiş ve hatta lazerin dalgaboyu, polarizasyonu ve açısal momentumundaki [10] değişikliklerle kayıt miktarının Peta bit (Pb) ve hatta Eb'lere artırılabilceği tespit edilmiştir [11].

Nano teknolojideki gelişmelerle ve 5D optik kayıt gibi gelişmiş tekniklerin uygulanmasıyla büyük miktardaki bilgilerin kayıt problemi kısmen çözüme kavuşmuş, bu başarının optik iletimin hızında artışı da tetikleyeceği kanaatini vermiştir.

Gelecek Data merkezlerinin ve süper bilgisayarların performanslarındaki gelişmeleri karşılayabilmek için her seviyedeki iletim bant genişliğinin exponansiyel olarak artırılması gerekir. Sonuç olarak raflar arasında, arka paneller, çekme kartlar, taşıyıcılar arasında ve hatta çipler arasında yüksek bant genişliği ve yüksek hızlı ara-bağlantılara ihtiyaç vardır [12].

1 Tb'lik bilginin elektrik hat üzerinden iletimi için 200 saniyelik bir süre gerekiyorken, 1 Pb'lik bilgi için 200.000 saniyelik (~2,3 yıl) süre gerekecektir. Bugün optik iletimle 1 Tb lik bilginin 1/40 saniyede iletimi mümkün hale gelmiştir.

Diğer önemli bir nokta da bilgi iletiminde harcanan enerjidir. Bakırın direncinden dolayı bilgi oranı arttıkça enerji gereksinimi de o oranda artmaktadır. 2007 de yapılan bir araştırmaya göre veri merkezlerinin küresel olarak talep ettiği enerji 330 Milyar kWsaattır ki, bu değer nerdeyse UK'nin bir yılda tükettiği elektrik enerjisine denktir. 2020 yılında bu değer 3 kat artıp 1000 Milyar kWsaati geçecektir [13]. Yine çevre koruma ajansının bir raporuna göre ABD'de 2010 yılında tüketilen enerjinin %1.5'u (4.5 Milyar Dolar maliyetle) veri merkezleri tarafından kullanılmıştır [11]. Her ne kadar enerji gereksiniminde optik iletimin elektrik iletimle aynı seviyede olduğunu söyleyen araştırmacılar olmuşsa da [14], çok daha fazla sayıda araştırmacı optik iletimin elektriksel iletimden çok daha düşük enerji gereksinimine sahip olduğunu rapor etmişlerdir [15-17].

Tablo 2' de bakır-tabanlı elektrik arka panel ile tamamen optik tabanlı arka panelin, veri oranı ve enerji gereksinimi açısından performans karşılaştırması verilmiştir [15].

Tablo 2. Bakır-tabanlı Elektrik arka panel ile optik arka panelin performans karşılaştırılması.

	Soğurulan Güç [dB]	Maksimum veri oranı [Gb/s]	Güç tüketimi [mW/Gb/s]
Cu Tabanlı Elektrik il. (dengelenmemiş)	12.5	6-7	0.81
Cu Tabanlı Elektrik il. (dengelenmiş)	12.5	22	0.81
Optik arabağ. Multimode 850 nm VCSEL ($I_{bias}=1.41$ mA)	6.68	25	0.19
Optik arabağ. Single M. 850nm VCSEL ($I_{bias}=1$ mA)	5.56	25	0.132
Optik arabağ. Multimode 850 nm VCSEL ($I_{bias}=1.5$ mA)	6.95	28	0.18
Optik arabağ. Multimode 850 nm VCSEL ($I_{bias}= 5$ mA)	5.56	40	0.41

Tablo 2' den görüleceği üzere soğurulan güç açısından optik iletim elektrik iletimin yarısı olduğu halde, yedi kat daha fazla veri oranına sahiptir. 1 Gb/s başına güç tüketimi elektrik iletiminde 0.81 mW iken, tek mod (single mod SM) optik iletimde 0.132 mW'tır. Bu değerler optik iletimin, elektrikten daha hızlı daha ucuz ve daha yüksek enerji verimliliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Yüksek performans polimerlerin geliştirilmesi, düşük maliyetli yüksek kapasiteli lazer kaynakların (VCSEL) ve detektörlerin elde edilmesi yeni hibrit optoelektronik mimarilerin tasarlanması optik iletimin uygulanabilirliğini artırmış ve optik iletimi elektrik iletimine göre daha cazip hale getirmiştir.

3. Polimer Dalga-kılavuzu

Uzun mesafe optik iletimde SM fiberler kullanılırken, aşırı derece kablo yoğunluğunu önlemek için de kart seviyesindeki ara bağlantılarda, çok modlu (multi mode MM) polimer dalga-kılavuzları kullanılmaktadır. Kısa mesafe optik iletimde fiberlerin yerine polimer dalga kılavuzlarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Geleneksel baskı devre kartlarına (BDK) doğrudan bütünleşebilmelerinden, büyük boyutlarından (30-70 μm) esnek hizalama toleranslarına sahip olmalarından ve diğer faydalı materyal özelliklerinden MM polimer dalga kılavuzları, optik iletimde en çok kullanılan yapılar olmuşlardır [16,17].

MM polimerler kullanılarak optik bilginin kart üzerinde farklı yönlere yönlendirildiği farklı mimaride dalgakılavuzu bileşenleri imal edilmiştir. Bu bileşenler yüksek yönlendirme esnekliğine sahip, fonksiyonel geniş ölçekte, pasif dalgakılavuzu bileşenleridir [18]. Bu polimer dalgakılavuzu bileşenleri: 90° kavşaklar, 90° ve S- şekilli dalgakılavuzu bükülmeleri ve Y- şekilli demet bölücü ve birleştiricileridir. Bu bileşenlerin mikrografları başka makalelerde gösterilmiştir [18,19]. Bazı arka panellerde aynalar da dalgakılavuzu yolları üzerinde kullanılmıştır. Dalgakılavuzu yapısında ayna, VCSEL ve/veya fotodiyotların kart kenarlarında kuplajlanmalarına bağlı olarak gerekli olabilir. Aynalar dalga-kılavuzu düzleminde ekstra yönlendirme esnekliğine sahiptirler. Aynalar, mümkün olduğu kadar az sayıda ve düşük kayıplı olmak koşulu ile dalgakılavuzu yapısı içinde kullanılabilir. Morimoto ve Ishigure, tasarladıkları arka panelde, VCSEL den PD ye demet yönlendirmeyi iki adet 45° ayna ile gerçekleştirmişlerdir [20].

Bir taraftan düşük kayba sahip dalgakılavuzu kavşaklarının kullanımı kart üzeri kompleks topolojileri mümkün hale getirerek çok katlı yapılara ihtiyaç bırakmazken diğer taraftan Y- şekilli demet bölücü ve birleştiricileri de çok kanallardaki bilgilerin bir kanala toplanmasını veya bir kanaldaki bilginin ayrı çok kanallara dağıtılmasını sağlamıştır [19]. Dalgakılavuzu bükülmeleri de kart üzeri eğrisel arabağlantı yollarını temin etmiştir.

Bamiedakis ve arkadaşları pasif MM dalgakılavuzu bileşenleri üzerine yaptıkları çalışmalarda mükemmel optik geçirgenlik özellikleri elde ettiler [19]. Dalgakılavuzu kesişmelerinde -60 dB nin altında çapraz-karışma değeri ve 50 μm MM fiber girişi için 90° dalgakılavuzu çaprazlarında çapraz başına ~ 0.01 dB lik çok düşük bir kayıp elde ettiler. Bu sonuçlar kart üzerinde düşük kayıp ve düşük çapraz-karışma değeriyle çok sayıda dalgakılavuzu kesişmeleri kullanım potansiyelinin olduğunu gösterdi. DeGroot Jr. çubuk dalgakılavuzları üzerinde yaptığı kayıp ölçümünde, iç kayıpların 0.03-0.05 dB/cm aralığında olduğunu rapor etmiştir [18]. Ayrıca 90° bükülme dalgakılavuzu üzerine yaptığı çalışmalarda dalgakılavuzuna çiftlenim sırasında çok sayıda modun uyarılmasının kayıp miktarını artırdığını gözlemlemiştir. Dalgakılavuzunun geri kalan kısımlarının toplam güç kaybından olumsuz etkilenmemesi için lazer kaynağının dalgakılavuzuna çiftleniminin kritik öneme sahip olduğu belirtilmiştir [18]. Bu öngörüü teyit edecek şekilde Bamiedakis ve arkadaşları MM dalgakılavuzlarının optik geçirgenlik karakteristiklerinin aygıt girişinde kaynağın dalgakılavuzlarına çiftlenim şartlarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir [21].

4. Yüksek Performans Polimerler

Yüksek performans polimerler (YPP) telekom dalga boylarında (850, 1310 ve 1550 nm) düşük kayıp, yüksek termal özellik ve yüksek sıcaklıklara dayanıklılık ve uzun vadeli bozunmaya karşı bağışıklık özelliklerinden dolayı optik iletim için aranan malzemeler olmuşlardır. YPP polimerlerden bazıları üzerinde 85 °C de 5000 saat boyunca yapılan çevresel stres testleri, bu polimerlerin mükemmel ısıl ve fotokimyasal kararlılığa sahip olduğunu göstermiştir [22, 23]. Bazı firmaların geliştirdikleri YPP'ler ve optik özellikleri Tablo 3. verilmiştir. Hatta bazı YPP dalgakılavuzu yapıların -40 +120 °C sıcaklık aralığında optik özelliklerini koruduğu tespit edilmiştir [22]. Optik iletim için kabul edilebilir yayılma kaybı 0.05 dB/cm [26] iken tablodaki polimerlerin çoğu bu değer altında kayıp göstermiştir. Bu polimerlerden bazıları 350 °C kadar dayanmış [19] ve dalgakılavuzu aygıt özelliklerini korumuşlardır [22, 23]. Elektrik BDK'da aşırı ısınmadan kaynaklanan lehim atması gibi problemlerin bu polimerle üretilen dalgakılavuzlarında görülmediği gösterilmiştir [18]. Telefon ağlarında, kablolu televizyon sistemlerinde, tıp ve askeri uygulamalarda optik veri iletiminde kullanılan fiberlere ilaveten YPP lerden yapılan pasif dalgakılavuzu yapıları da uzay uygulamalarında süper bilgisayarlar gibi yüksek performans elektronik sistemlerinde kullanılmaktadır.

Tablo 3. Bazı YPP'lerin üretici firmaları ile isimleri ve 850 nm civarındaki yayılma kayıpları ve kırılma indisleri.

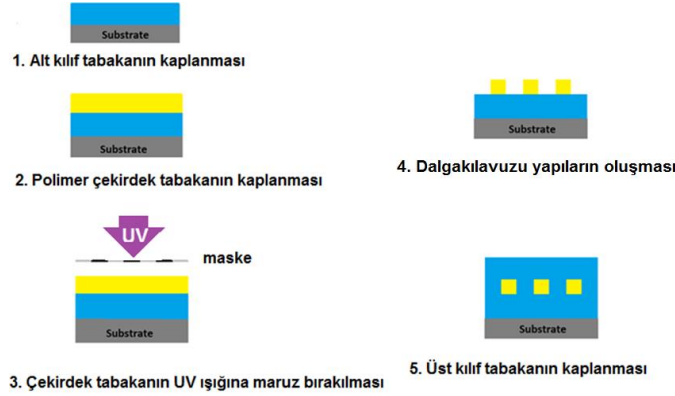
Üretici Firma	Polimer	Yayılma kaybı dB/cm [dalgaboyu, nm] [25]	Kırılma indisi n Dalgaboyu [nm][24]
Corning	Acrylate	0.02 [840]	1.415 [840 nm]
Dow Corning	Polysiloxane	0.04 [850]	1.52 [850 nm]
NTT	Halogenated acrylate	0.02 [830]	1.4886 [830 nm]
Exelis	Truemode	0.04 [850]	1.57 [633nm]

Günümüzde bir çok araştırma laboratuvarlarında YPP dalgakılavuzlarının yapısal sağlık görüntülemelerinde optik algılama elemanı olarak kullanımı da araştırılmaktadır [27].

5. Polimer Dalgakılavuzlarının İmali

Polimer ince film hazırlamada kullanılan en yaygın iki yöntem, spin kaplama [28-30] ve doctor-blading [12, 31, 32] yöntemleridir. Spin kaplama yöntemiyle, nispeten daha küçük yüzeylere (3-5 cm²) homojen kaplamalar yapılabilirken, doctor-blade yöntemi ile daha büyük boyutlarda (350x400 mm²) homojen yüzeyli ve uniform polimer filmler üretilmektedir [12]. Genel olarak kaplamaların kabarcıklardan ve dalgalı yüzey pürüzlerinden arındırılmış ve de tabana iyi yapışmış olması istenir.

Polimer dalga-kılavuzları, fotorezist tabanlı modelleme, doğrudan fotolitografi, lazer yazılım ve yumuşak litografi gibi yöntemlerle elde edilmektedir. Şekil.2 şematik olarak foto litografi yöntemi ile polimer dalga-kılavuzu fabrikasyon aşamalarını göstermektedir.



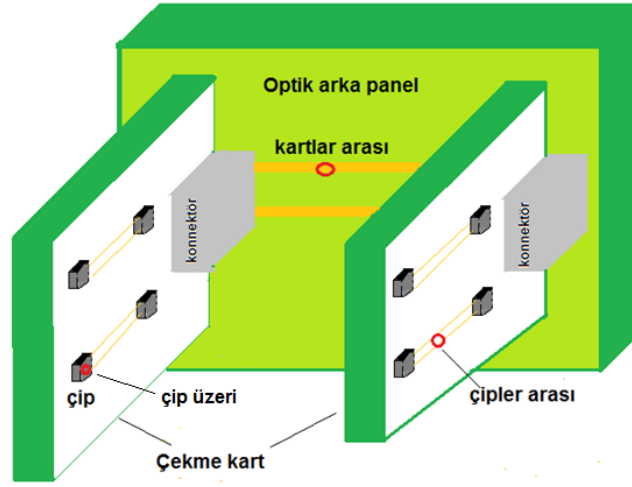
Şekil 2. Fotolitografi yöntemi ile dalgakılavuzu fabrikasyonunun aşamaları

Alt kılıf tabaka kaplandıktan sonra ısıl işlem uygulanarak çözücünün uçurulması sağlanır. Sonra alt kılıf üzerine çekirdek tabaka kaplanır. Her kaplamadan sonra ısıl işlem uygulanır. Çekirdek tabaka bir maske (fotorezist) üzerinden UV ışığına maruz bırakılır. Maskeden geçen UV ışığı çekirdek tabakayla etkileşerek evapore olmasına sebep olur. Geriye UV ile etkileşmeyen kısımlar (yani dalga-kılavuzu yolları) kalır. Son olarak üst kılıf tabaka kaplandıktan ve final kurutma işleminden sonra dalga-kılavuzu yapıları hazırlanmış olur [17-20].

Taban malzemesi olarak Si ve FR4 gibi sert malzemelerin yanında esnek, plastik, polimer malzemeler de kullanılmaktadır [23, 24]. Plastik tabanların avantajı cihaz uygulamalarında katlanabilir olması dolayısıyla nispeten küçük hacimlere sığdırılabilmeleridir.

6. Optik Arka Paneller

Şekil 3 bir optik arka panelin şematik şeklini göstermektedir. Optik arka panel üzerinde turuncu renkle gösterilen polimer dalga-kılavuzu kanalları bulunmaktadır. Her bir çekme karttan arka panele bilgi transferi olmaktadır. Pasif optik arka panel optik ana kart üzerinde farklı çekme kartlar arasında kesintisiz optik iletim sağlamaktadır. Günümüz teknolojisinde optik kartlar ve arka paneller üzerinde iletim tamamen optik olmayıp kısmen elektriktir. Optik kart üzerinde sinyalin elektrikten optiğe ve optikten elektrığe dönüşümünü sağlayan modülatörler bulunmaktadır. Bu günlerde anahtarlanmanın hala elektrikselleşmesinden ve optik teknoloji sadece noktadan noktaya bağlantı düzeyinde kaldığından, elektrikten optiğe ve optikten elektrığe dönüşümlerde büyük miktarda enerji israfı olmaktadır [33]. Bu enerji, anahtarlanmanın da optiksel olduğu, tamamen optik iletime geçilmesiyle, tasarruf edilebilecektir.



Şekil 3. İki çekme kartın takılı olduğu bir optik arka panelin şematik gösterimi.

Farklı araştırma grupları tarafından farklı mimariye sahip optik arka paneller tasarlanmıştır [20, 34, 35]. Boyutları ve de mimarileri farklı olan bu arka panellerde ucuz MM polimer dalgakılavuzları üzerinden 850 nm dalgaboylu VCSEL lazer ile optik iletim sağlanmıştır. A Effendi ve arkadaşlarının tasarladığı optik arka panel 100 cm² lik yüzey alanına sahip olup 100 adet 90° bükülmelerini ve 1800 adet dalgakılavuzu kesişmelerini içermektedir. Dalgakılavuzu üzerinde farklı noktalarda ölçülen yayılma kaybının 2-8 dB arasında değiştiği tespit edilmiştir. Her bir kanalda 1 sn de taşınan veri oranının 10 Gb olduğu tespit edilmiştir [34].

Effendi ve arkadaşlarının tasarladığı ikinci arka panel 4-kanal 3- kart polimer otobüs modelidir. Bu modelde yine 50 µm MM fiber giriş ve 1x4 VCSEL dizin için ölçülen yayılma kaybı 11 dB nin altında ölçülmüştür. En yüksek çapraz-karışma değeri -30 dB olarak belirlenmiştir [34].

Schmidetke ve arkadaşlarının tasarladıkları arka panel, daha büyük ebatta (305x460 mm²) ve daha büyük veri oranı (28 Gb/s)na sahiptir. Dalgakılavuzları 50 µm² kesit alanına sahip 850 nm de ölçülen kayıp değeri 0.05 dB/cm olup daha yüksek performans göstermiştir [35].

Araştırma laboratuvarlarında imal edilen optik arka panellerin data oranları 40 Gb/s ulaşmış [36] ve polimer dalga kılavuzu hatların sayılarının artırılmasıyla 1 Tb/s oranlara ulaşılacağı gösterilmiştir [37-39]. University of Collage London (UCL) den Dr. Maher ve arkadaşları tek bir hat üzerinden bugüne kadar en büyük hız değerini 1.125 Tb/s olarak elde ettiler. Bu değer İngiltere’de geniş bant bağlantılardaki hız değeri olan 24 Mb/s’den 50.000 kez daha büyüktür [38].

7. Sonuçlar

Optik veri iletimi, haberleşme ve bilgi teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, her geçen gün biraz daha artan oranda hayatımıza girmektedir. Big data olarak ifade edilen aşırı derecede çok bilginin kayıt edilebileceği, optik bilgi kaydında, muazzam başarılar elde edildi. Optik bilgi

kaydında tek bir disk üzerine yapılan kayıt miktarında Mb'lerden, 3 D tekniği ile 1Tb'lere ve daha sonra 5D tekniği ile 360 Tb'lere kadar bir artış kaydedildi. Data kaybı olmaması için 2 veya 3 yılda bir HDD tabanlı kayıt ortamlarında, veri kayıtları transfer edilirken ve bu iş için büyük miktarda enerji kullanılırken, optik veri kaydındaki gelişmelerle 12,3 milyar yıl kayıt süreleriyle muazzam miktarda enerji tasarrufu sağlanabileceği gösterilmiş oldu. Her geçen gün artan bilgi üretimine paralel olarak, daha fazla bilginin kaydedilmesindeki başarıyı, daha hızlı bilgi iletimi takip etmiştir.

Geleneksel elektrik iletimindeki 5 Gb/s lik hız bugün optik iletimle 1 Tb/s ye çıkmıştır. Optik iletimle 1000 kez daha hızlı bir iletim mümkün olmuştur. Hat sayılarının artırılması ve WDM lerin kullanımıyla 1 Tb lik data oranının çok daha yüksek değerlere artırılacağı rapor edilmektedir.

Elektrik iletiminde üzerinde bakır iletim hatları olan elektronik BDK kullanılırken, optikte üzerinde polimer dalgakılavuzu hatları bulunan optik BDKlar veya esnek polimer dalgakılavuzu şeritleri kullanılmaktadır. YPP'lerden yapılan dalgakılavuzlarında yayılma kaybı 0.02 dB/cm gibi çok düşük bir değere sahiptir. Optik iletimde en büyük kayıp optik konnektörlerde olmaktadır. Fakat çiftlenim verimliliği çok yüksek konnektör tasarımı ile bu kayıplar da azaltılmıştır. Optik iletim güç tüketimi açısından da elektrik iletiminden 6 kat daha tasarruflu olup, 1 Gb/s başına güç tüketimini 0.81 W değerinden 0.132 W değerine düşürmüştür.

Hibrit optik kartlarda sinyalin elektrikten optiğe (E/O) ve optikten elektrige (O/E) dönüşümünde büyük miktarlarda enerji israfı olmaktadır. Anahtarlanmanın da optik olduğu tamamen optik iletimde, E/O veya O/E dönüşümüne gerek kalmayacağından, bu dönüşümlerde kullanılan enerji tamamen tasarruf edilebilecektir. Hem kapasite, hem de enerji gereksinimi ve hem de maliyette büyük avantajlar elde edilebilecektir.

Kısaca optik iletim insanın bugünkü teknolojik ihtiyaçlarına cevap veren en ucuz, en güvenilir ve en verimli iletimdir.

Kaynakça

- [1] The Statistics Portal (2014), "Global data center IP traffic from 2012 to 2017, by data center type," <http://www.statista.com/statistics/227268/global-data-center-ip-traffic-growth-by-data-center-type>.
- [2] E Agrell, M Karlsson, AR Chraplyvy, DJ Richardson, PM Krummrich, P Winzer, et al. Roadmap of optical communications", J. of Opt.2016;18:1-40.
- [3] Kash, J A "Leveraging Optical Interconnects in Future Supercomputers and Servers" High Performance Interconnects, 2008. HOTI '08. 16th IEEE Symposium on, 2008;190-94.
- [4] RF Service, "What It'll Take to Go Exascale"Science, 2012;335(6067):394-96.
- [5] AF Benner, M Ignatowski, JA Kuchta and MB Ritter, Exploitation of Optical Interconnects Future Server Architecture, IBM, J. Res. Dev. 2005;49:755-75.
- [6] https://www.swissphotonics.net/libraries.files/SLN_Interconnectcs_Offrein.pdf.
- [7] <http://blog.cdrom2go.com/2011/11/dvd-disc-actual-storage-capacity>.

- [8] BH Cumpston, SP Ananthavel, S Barlow, DL Dyer, JE Ehrlich, LL Erskine, et al., "Two-photon polymerization initiators for three-dimensional optical data storage and microfabrication", *Nature*, 1999;398:51-54.
- [9] <http://www.southampton.ac.uk/news/2016/02/5d-data-storage-update.page>
- [10] K Cicek, Z Hu, J Zhu, L Meriggi, S Li, Z Nong, et al. Integrated optical vortex beam receivers, 2016;24(25):28529-39.
- [11] Min Gu, Xiangping Li and Yaoyu Cao, Optical storage arrays: a perspective for future big data storage, *Light: Science&Applications*, 2014;58:1-11.
- [12] R Dangel, J. Hofrichter, F. Horst, D. Jubin, A. L. Porta, N. Meier, et al Polymer waveguides for electro-optical integration in data centers and high-performance computers, *Opt. Exp.* 2015;23:4736-50.
- [13] Make It green, cloud computing and its contribution to climate change, Greenpeace. Mar.2010.<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet2/report/2010/3/make-it-green-cloud-computing.pdf>
- [14] M Stucchi, S Cosemans, J V Campenhout, Z Tokei, G Beyer, On-chip optical interconnects versus electrical interconnects for high-performance applications, *Microelectronic Engineering* 2013;112:84-91.
- [15] A Boletti, D Giacomuzzi, G Parladori, P Boffi, Ferrario, and M Martinelli, Performance comparison between electrical copper-based and optical fiber-based backplanes, *Opt. Exp.* 2013;21:19202-08.
- [16] N. Bamiedakis, J. Chen, RV Penty, IH White, High-bandwidth and low-loss multimode polymer waveguides and waveguide components for high-speed board-level optical interconnects, *Proc. SPIE*, 9753, Optical Interconnects XVI, 2016;9753:4.
- [17] Ryota Kinoshita, K Moriya, K Choki, and T Ishigure, Polymer Optical Waveguides with GI and W-Shaped Cores for High-Bandwidth-Density on-Board Interconnects, *J. of Lightwave Technology*, 2013;31(24):4004-15.
- [18] JV DeGroot Jr., Cost Effective Optical Wave guide Components for Printed Circuit Applications, *Passive Components and Fiber-based Devices IV Proc. of SPIE* 2007;6781.
- [19] N Bamiedakis, A Hashim, RV Penty, IH White, Polymer Waveguide-Based Backplanes for Board-Level Optical Interconnects", *ICTON* 2012.
- [20] Y Morimoto, and T Ishigure, Low-loss light coupling with graded-index core polymer optical waveguides via 45-degree mirrors, *Opt Exp.*2016;24(4):3550-60.
- [21] N. Bamiedakis, et al. "Cost-effective multimode polymer waveguides for high-speed on-board optical interconnects", *IEEE, J. of Quantum Electronics*, Vol. 45, (2009) 415-45.
- [22] R Dinu, D Jin, G Yu, B Chen, D Huang, H Chen, et al. Environmental Stress Testing of Electro-Optic Polymer Modulators, *J. of. Lightwave Technology*, 2009;27:1527-32.
- [23] BW Swatowski, CM Amb, SK Breed, DJ Deshazer, WK Weidner, RF Dangel, et al. Flexible Stable and Easily Processable Optical Silicons for Low Loss Polymer Waveguides, *Proc. SPIE* 8622, Organic Photonic Materials and Devices XV, 2013;862205.
- [24] V Prajzler, P Hyps, R Mastera, P Nekvindova, Properties of Siloxane Based Optical Waveguides Deposited on Transparent Paper and Foil, *Optical Communications*, 2016;25,230-35.
- [25] J Chen Ph. D. Thesis, Polymer Waveguide Based Optical Interconnects for High-Speed On-Board Communications, University of Chambridge, 2016.

- [26] DM Kuchta, Y Taira, C Baks, G McVicker, L Schares, and H Numata, "Optical Interconnects for Servers," *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2008;47:6642–45.
- [27] M Rezem, A Günther, M Rahlves, B Roth, E Reithmeier, Fabrication and Sensing Application of Multilayer Polymer Optical Waveguides, *Procedia Technology*, 2016;26:517-23.
- [28] H. P. Chan, M. A. Uddin and C. K. Chow "Effect of Spin Coating on the Interfacial Adhesion of Epoxy Adhesive on Silicon Substrate for the Fabrication of Polymer Optical Waveguide", *Electronic Components and Technology Conference, IEEE 2004*:1-3
- [29] J. Zhou, WH Wong, EYB Pung, YQ Shen, YX Zhao, Fabrication of low loss optical waveguides with a novel thermo-optical polymer material, *Optica Applicata*, 2006; XXXVI:429-34.
- [30] AS Holmes, RRA Syms, Ming Liand M Green, Fabrication of buried channel waveguides on silicon substrates using spin-on glass, *Applied Optics*, 1993;32:4916-21.
- [31] DK Cai, A Neyer, R Kuckuk, HM Heise, Optical absorption in transparent PDMS materials applied for multimode waveguides fabrication, *Optical Materials*, 2008;30:1157-61.
- [32] M Rezem, A Günther, M Rahlves, B Roth, Low-cost Fabrication of All-Polymer Planar Optical Waveguides" ,*DGaO Proceedings 2016*, <http://www.dgao-proceedings.de>
- [33] Christoforos Kachris and Ioannis Tomkos, A Roadmap on Optical Interconnects in Data Centers Networks, *ICTON 2015, IEEE*.
- [34] A Hashim, N Bamiedakis, RV Penty, IH White, Multimode 90°-Crossings, Combiners and Splitters for a Polymer-Based On-Board Optical Bus, in *Proc. C. Lasers Electro-Optics*, 2012:1-2.
- [35] K Schmidtke, F Flens, A Worrall, R Pitwon, F Betschon, T Lamprecht, 960 Gb/s Optical Backplane Ecosystem Using Embedded Polymer Waveguides and Demonstration in a 12G SAS Storage Array, *J. of Lightwave Technology* 2013;31:3970-75.
- [36] N Bamiedakis, A Hashim, RV Penty, IH White, A 40 Gb/s Optical Bus for Optical Backplane Interconnections, *J. of Lightwave Technology*, 2014;32:1526-37.
- [37] FE Doany, CL Schow, BG Lee, A Budd, CW Baks, CK Tsang, et al. Terabit/s-Class Optical PCB Links Incorporating 360-Gb/s Bidirectional 850 nm Parallel Optical Transceivers *J. of Lightwave Technology*, 2012;30:560-72.
- [38] J Beals, N Bamiedakis, A Wonfor, RV Penty, IH White, JV DeGroot Jr., et al A terabit capacity passive polymer optical backplane based on a novel meshed waveguide architecture, *Apl. Phys. A* 2009;95:983-88.
- [39] <http://www.ucl.ac.uk/news/news-articles/0116/110216-fastest-data-rate-record>