

## Tek-dallı Optik LOS kanalda IM/DD OWC Sisteminin Görünür Işık İletişimi ile Güç Analizi

Berna Özşahin, Osman Baruk, Asuman Savaşçihabeş  
Nuh Naci Yazgan Üniversitesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Kayseri

[bernaosahinn@gmail.com](mailto:bernaosahinn@gmail.com), [osmanbaruk@gmail.com](mailto:osmanbaruk@gmail.com), [ahabes@nny.edu.tr](mailto:ahabes@nny.edu.tr)

**Özet:** *Optik kablosuz haberleşme (Optical Wireless Communication, OWC), kızılötesi, görünür veya morötesi frekanslarını kullanarak kablosuz iletim imkanı sağlayan yeni gelişmekte olan bir teknolojidir. OWC kullanılan verici türüne ve dalgaboyuna göre iki ayrı kategoriye ayrılır. Bunlardan ilki görünür ışık frekansında LEDleri verici olarak kullanarak kablosuz haberleşme imkanı sağlayan görünür ışıkla haberleşme (Visible Light Communication, VLC) sistemleridir. Diğeri ise kızılötesi frekanslarda lazer verici kullanarak noktadan noktaya iletim yapan serbest uzay optik (Free Space Optical, FSO) haberleşme sistemleridir. Farklı uygulamalara yönelik olarak VLC ve FSO sistemleri geliştirilmektedir. Bu çalışmada iç ortam haberleşmesi için alıcı güç spektral yoğunluğunun analiz edildiği senaryoda tek- dallı optik LOS(Line-of-sight) kanal dikkate alınmıştır.*

**Abstract:** *Optical Wireless Communication (OWC) is a newly developing technology that enables wireless transmission using infrared, visible or ultraviolet frequencies. OWC is divided into two separate categories according to the transmitter type and wavelength. First is the Visible Light Communication systems (VLC) that provide wireless communication by using LEDs at visible light frequency as transmitters. The other is Free Space Optical (FSO) communication systems that transmit point-to-point by using laser transmitters at infrared frequencies. VLC and FSO systems are being developed for different applications. In this study, in the scenario in which receiver power spectral density is analyzed for one-tap indoor optical LOS (Line of sight) channel.*

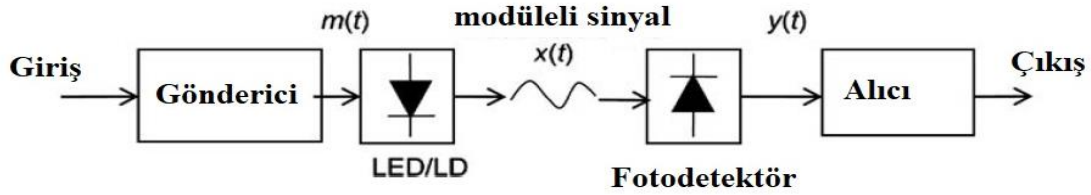
### 1. Giriş

Kullanıcıların son yıllarda gelişen teknolojiyle beraber yüksek hızlı internet, mobil görüntülü telefonlar, yüksek teknolojlü TV'ler, video konferans kullanımının artması, bu teknolojilerin de desteklenebilmesi için bant genişliği talebinde büyük artış ortaya çıkmıştır. Akıllı cihazların yaygın kullanılmasıyla beraber nesnelerin interneti (IoT\_internet of things) teknolojisindeki hızlı büyüme ve gelişme ile birlikte yeterli bant genişliği arayış hızı artmaktadır. Bir dizi radyo frekans tabanlı (RF) kablosuz iletişim sisteminin yanı sıra yine bir dizi teknoloji vardır; erişim ağlarında (son metre ve son mil..vb.), bakır tel, hibrit koaksiyel ve fiber optik kablolar, eve kadar fiber bu teknolojilere örnek verilebilir. Bant genişliğine yönelik küresel talep arttıkça, RF hücreler, mikro dalga teknolojilerinin bakır ,koaksiyel kabloların bant genişliklerinin sınırlı olması, spektrumlarının sıkışık ve yüksek düzeyde düzenlenmiş olması, erişilebilirliklerinin sınırlılığı nedeniyle yaklaşan ihtiyaçları karşılamayacağı açık bir şekilde görülmektedir. Üstelik bu teknolojilerin güvenlik sorunlarıyla karşılaşması, yüksek maliyetli lisans ücretleri gerektirmesi, yüksek kurulum maliyetlerinin olması da dezavantajları arasındadır. Günümüzde kablosuz iletişim için en etkili alternatiflerden biri, çevre dostu ve enerji verimliliği sağlayan, geleneksel ışık kaynaklarına göre daha hızlı açılıp kapatılabilir olan ve optik kablosuz haberleşme(OWC)'de de kullanılan bir teknoloji olan LED tabanlı Görünür ışık iletişimidir [1-3]. Sağladığı geniş spektrum, cihazlar arasında güvenli bir iletişim ağı kurması, kablosuz radyo frekanslarının(RF) kullanımının yasak olduğu yerlerde kullanılabilir olması, yüksek enerji verimliliği ve düşük elektromanyetik parazit ile VLC, 5G ve ötesi kablosuz iletişim için aday bir teknik olarak ilgi odağı olmaktadır. Sağladığı avantajlar sebebiyle VLC radyo tabanlı iletişim uygulamalarına alternatif olabilir. VLC ile ilgili standartlaşma IEEE 802.17.7 çalışma grubu tarafından ortaya konulmuştur. Optik Kablosuz Haberleşmenin önemli uygulama temelleri arasında yer alan optik iletişimin temel ilkeleri; optik ışık kaynakları; modülasyon teknikleri; kanal modelleri VLC sistem tasarımında ve modellemede kullanılmaktadır. VLC sistemlerin uygulama alanlarına da değinecek olursak; iç ortam haberleşme ağları, kablosuz yerel alan ağları (WLAN: Wireless Local Area Network) ve havalimanı istasyonlar gibi altyapı gerektiren iletişim ağlarını söyleyebiliriz. Bu çalışmada, OWC sistemlerin kablosuz iletişimde uygulama temelleri, kanal modellemeleri, modülasyon teknikleri, matlab uygulamaları vs. gibi incelemeler yapılmış ve araştırılmıştır. İnsanlar ve cihazlar arasında küresel düzeyde bir bağlantı ile ilgili olarak kablosuz iletişim teknolojisinde, heterojen nesnelere arasında iletişim sağlamak için genişletilebilen ve böylece nesnelerin internetinin (Internet of Things, IoT) yaygın bir şekilde uygulanmasını sağlayan kayda değer bir gelişme öngörülmektedir[4-6]. Bu uygulamalara

kısaca değinmek gerekirse insandan insana, makineden makineye terminalden terminale, kişiden makineye iletişim konularından bahsedebiliriz. Fakat RF tabanlı kablosuz teknolojileri kullanarak; çoğunlukla kentsel alanlarda belirgin olan ve ağı sınırlı erişime yol açacak olan spektrum sınırı; özellikle oldukça yoğun alanlarda bağlantı performansını etkileyecek olan çok yollu indüklenen sönümlenme ve dağılma; ve üretilen kablosuz veri trafiğinin %70'inden fazlasının kapalı alan olduğu göz önünde bulundurulduğunda, iç ortamlarda heterojen cihazların verimli çalışması için yetersiz bant genişliği ile karşılaşmaktadır. RF spektrumu üzerindeki baskıyı azaltmak için, bazı mobil veri trafiği kablosuz uygunluk (Wi-Fi) ve femtocell tabanlı teknolojilere indirilebilir[7]. Bununla beraber, Wi-Fi bağlantı noktalarının yoğun konuşlandırılması da bant genişliği darboğazıyla karşı karşıyadır. Bu nedenle, yüksek veri hızları ve düşük gecikme süresiyle sorunsuz kablosuz iletişim sağlamak için, sağlanan hizmetin son derece güvenilir, düşük maliyetli ve yüksek hızlı teknolojileri benimsemesi gerekecektir[8].

## 2. OWC Sistem Modeli

Son yıllarda gelişen teknoloji ve kullanılan teknolojik cihazların sayısındaki ve çeşitliliğindeki artış sebebiyle bu teknolojileri desteklemek amaçlı bant genişliği talebinin arttığı görülmektedir. Bu teknolojilere kısaca değinecek olursak; mobil görüntülü telefonlar, yüksek teknolojlü TV'ler, video konferans ve yüksek hızlı internet erişimini örnek olarak verebiliriz. Yine günümüzde popüler bir konu olan IoT ( internet of things) teknolojisinin de gelişmesi bant genişliği talebinin artmasına sebep olmaktadır. Kablosuz iletişim için günümüzdeki en etkili alternatiflerden biri, çevre dostu ve enerji verimliliği sağlayan, geleneksel ışık kaynaklarına göre daha hızlı açılıp kapatılabilir olan ve optik kablosuz haberleşme(OWC)'de de kullanılan bir teknoloji olan LED tabanlı Görünür ışık iletişimi (Visible Light Communication, VLC)'nde de kullanılan bir teknoloji olarak kullanılabilmektedir. Sağladığı geniş spektrum, cihazlar arasında güvenli bir iletişim ağı kurması, kablosuz radyo frekanslarının(RF) kullanımının yasak olduğu yerlerde kullanılabilir olması, yüksek enerji verimliliği ve düşük elektromanyetik parazit ile VLC, 5G ve ötesi kablosuz iletişim için aday bir teknik olarak ilgi odağı olmaktadır. Şekil 1.'de IM/DD OWC Sistemin blok diyagramı yer almaktadır (Davis, 2014).



Şekil 1. IM/DD OWC Sistemin blok diyagramı

Bu çalışmada, OWC sistemlerin kablosuz iletişimde uygulama temelleri kanal modellemeleri modülasyon teknikleri, matlab uygulamaları vs. gibi incelemeler yapılmış ve araştırılmıştır. IM/DD OWC sistemine ait giriş-çıkış parametreleri:

$$y(t) = G_{oc}Rx(t) \otimes h(t) + n(t) \quad (1)$$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Rhx(\tau)h(t - \tau)d(\tau) + n(t) \quad (2)$$

ifadeleri ile tanımlanmaktadır. Burada  $\otimes$  konvolüsyon operatörü iken  $G_{oc}$  ise optik alıcıya ait kazançtır. R, fotodetektör üzerindeki ışık olayının spektral güç dağılımına bağlıdır ve fotodetektörün dalgaboyuna özgü bir yanıt fonksiyonudur. Yani R, fotodetektör tepkisidir,  $h(t)$  temel bant kanal dürtü tepkisidir ve  $n(t)$  çift taraflı güç spektral yoğunluğuna sahip eklenebilir Beyaz Gauss gürültüsü (AWGN) olarak modellenen sinyalden bağımsız kanal gürültüsüdür. Bu ifadelerde yer alan  $h(t)$ , kapalı iç ortam OWC kanallarda çok yollu dağılımın etkilerini analiz eden kanal fonksiyonu olup Eşitlik 3 ile tanımlanmıştır:

$$h(t) = f(x) = \begin{cases} \frac{2t_0}{t^3 \sin^2(FOV)} t_0 \leq t \leq \frac{t_0}{\cos(FOV)} \\ 0, \text{ diğ}er \end{cases} \quad (3)$$

Burada,  $t_0$  kanalın minimum zaman gecikmesidir. Şekil 1.'de verilen eşdeğer model temelband IM/DD OWC kanalını temsil etmektedir. Burada optik kanallarda  $x(t)$  sinyal genliğinden ziyade sinyal gücünü temsil eder. Dolayısıyla gönderici tarafta sinyal gücü hesaplanırken  $x(t)$  nin mutlaka pozitif olması gerekir:

$$P_{\max-giriş} \geq x(t) \geq 0 \quad (4)$$

Eşitlik 4'te  $P_{\max-giriş}$  göndericinin maksimum anlık optik gücüdür. Ayrıca görünür ışık haberleşmesinde iletimde kullanılmasından kaynaklanan maksimum güç ifadesi geleneksel RF kanallardaki  $|x(t)|^2$  ifadesinden farklı olarak  $P_{\max}$  maksimum güç değerini aşmamalıdır:

$$P_{\max} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) dt \quad (5)$$

geleneksel RF kanallarda işaret-gürültü-oranı (SNR: Signal-to-noise ratio) ortalama alınan güç ile orantılıdır. Ancak optik kablosuz linklerde SNR ortalama alınan optik sinyal gücünün karesi ile orantılı olmaktadır. Yani,

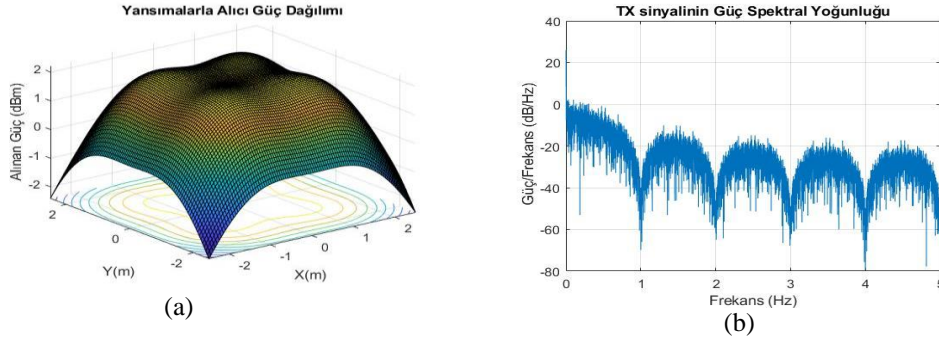
$$SNR = \frac{R^2 H^2(0) P_r^2}{R_b N_0} \quad (6)$$

olarak tanımlanan ifadede  $N_0$  spektral gürültü yoğunluğu ve  $H(0)$  ise kanalın DC kazancını ifade etmekte olup Eşitlik (7) ile tanımlanmaktadır [4].

$$H(0) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) dt \quad (7)$$

### 3. Sonuçlar

Optik Kablosuz Haberleşme sistemleri (OWC) ve bunun bir uygulaması olan Görünür Işık Haberleşmesi (VLC) son yıllarda üzerinde çalışmalar yapılan haberleşme alanı araştırmaları olarak karşımıza çıkmaktadır. VLC nin radyo dalgaları yerine kullanılacak yeni bir görünür ışık altyapısına sahip olması, bu ayrıca sistemlerin kullanıcının artan bant genişliği talebini karşılayacak yüksek frekans bant genişliğine sahip olması nedeniyle ve yüksek iletim kapasitesine erişebilme avantajları ile yeni nesil haberleşme sistemlerinde umut vadeden uygulamalar arasında yer almaktadır. Bu çalışmada yansımalarla alıcıda güç dağılımı ve alıcı sinyalin güç spektral yoğunluğu analizi için tek-dallı optik LOS kanalda IM/DD OWC sisteminin güç analizi yapılmış elde edilen sonuçlar Matlab ortamında 5 x 5 x 3 m. boyutlarında iç ortam için incelenmiştir. Şekil 2. (a)'da yansıma etkisindeki alıcı güç yoğunluğu iç ortam senaryosu için incelenmiştir. Güç dağılımına bakıldığında, minimum ve maksimum güç seviyeleri arasında 3dB optik güç farkı bulunduğu görülmektedir. Spektral güç yoğunluğu simetrik gönderici için hesaplanmış ve Şekil 2 (b)'de çizdirilmiştir. Buna göre uyumlu filtre çıkışında elde edilen ortalama gücün frekanslar üzerinden dağılımı düşük frekanslarda Hz başına -60dB güç spektral yoğunluğu olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. (a):alıcı güç yoğunluğu ( X=5m, Y=5m, Z=3m iç ortam senaryosu), (b): spektral güç yoğunluğu

### Kaynaklar

- [1]. Davis C., Lasers and Electro-Optics: Fundamentals and Engineering. 2nd ed., Cambridge University Press, U.K., 2014.
- [2]. Fiorarlı M., “Challenges for 5G Transport Networks,” Proceedings IEEE International Conference on Advanced Networks Telecommunication Systems, New Delhi, Hindistan, s.1-6 Nisan 2019.
- [3]. Ghassemlooy, Z., Popoola, W. ve Rajbhandari S., Optical Wireless Communications. Taylor and Francis Group, Florida, ABD, 2019.
- [4]. He X., Cao G. ve Zou N., “Simulation of White Light Based on Mixed RGB LEDs,” Proceedings IET International Conference on Communication Technology and Application, Beijing, Çin, s.961-964 Ekim 2011.
- [5]. Keiser G., Optical Fiber Communications. McGraw-Hill Companies, Yeni Delhi, 2011.
- [6]. Marcus M., ve Pattan B., “Millimeter Wave Propagation: Spectrum Management Implications”, IEEE Microwave Magazine., cilt.6 no.2 s.54-62, 2005.
- [7]. Mizuno T., “32-Core Dense SDM Unidirectional Transmission of PDM-16QAM Signals Over 1600 km Using Crosstalk-Managed Single-Mode Heterogeneous Multicore Transmission Line,” Proceedings 2016 Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC), Anaheim, CA, USA, s.1-3 Mart 2016.
- [8]. Ramaswami R., “Optical Fiber Communication: From Transmission to Networking”, IEEE Communications Magazine, cilt.40 no.5 s.138-147, 2002.