

LED'Lİ AYDINLATMA ARMATÜRLERİ İLE GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞMESİ

Sadi SAFARALİEV, Kadir VAHAPLAR, Ares AYBAR

LED Aydınlatma Ar-Ge, Vestel Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Organize Sanayi Bölgesi, Manisa, Türkiye, 45030

sadi.safaraliev@vestel.com.tr, kadir.vahaplar@vestel.com.tr, ares.aybar@vestel.com.tr

ÖZET

Mevcut kablosuz haberleşme teknolojileri çoğunlukla radyo frekansı spektrumunu kullanmaktadır. Ancak RF spektrumundaki eksiklikler nedeniyle yakın gelecekte hızla artan veri trafiğiyle başa çıkabilmek için yeni bir kablosuz haberleşme teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorunu gidermek için de görünür ışık haberleşmesi (visible light communication – VLC) bir çözüm olarak önerilmektedir. VLC geliştirmekte olan bir kablosuz haberleşme teknolojisidir ve LED'li aydınlatma armatürlerinin ikili kullanımını ele almaktadır. Bu bildiride, RF spektrumundaki eksiklikleri, VLC teknolojilerini, VLC uygulamalarını ve VLC'nin çalışma prensibini inceleyeceğiz.

I. GİRİŞ

Günümüzde kablosuz haberleşme teknolojileri, büyük ölçüde elektromanyetik (EM) spektrumunun radyo frekansı (RF) bantlarına dayanmaktadır. Ancak RF spektrumunun bazı ciddi eksiklikleri bulunmaktadır ve yakın gelecekte hızla artan veri iletim talepleriyle başa çıkamayacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla yeni bir kablosuz erişim teknolojisine olan talep artmaktadır. Çözüm olarak farklı öneriler sunulmaktadır. Bunlardan biri de görünür ışık haberleşmesidir (visible light communication – VLC, veya light fidelity – LiFi).

VLC geliştirmekte olan kısa menzilli bir kablosuz haberleşme teknolojisidir ve ışık yayın diyot (light-emitting diode – LED) kullanan LED'li aydınlatma armatürlerinin hem aydınlatma hem de haberleşme için ikili kullanımını ele almaktadır. VLC ile ilgili literatürde kapsamlı bir çalışma

bulunmaktadır. Daha fazla bilgi için [1, 2]'ye bakınız.

Bu bildirinin geri kalanı aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. İkinci bölümde RF spektrumundaki eksiklikleri ve neden yeni bir kablosuz haberleşme teknolojisine ihtiyaç duyulduğunu inceleyeceğiz. Üçüncü bölümde, görünür ışıkla farklı kablosuz haberleşme yöntemlerinden, özellikle VLC teknolojileri ve uygulamalarından bahsedeceğiz. Dördüncü bölümde, VLC'nin temellerini, yani VLC sistemlerinin nasıl çalıştığını işleyeceğiz. Beşinci bölümde ise bu bildiriye sonuçlandıracağız.

II. RF EKSİKLİKLERİ

RF spektrumunda ciddi eksiklikler bulunmaktadır. Bunların en önemlileri RF spektrumundaki yetersizlik, RF sinyallerinin EM girişime açıklığı ve RF bazlı cihazların bazı alanlarda yasaklanmasıdır.

A. RF Spektrumundaki Yetersizlik

RF tabanlı kablosuz haberleşme teknolojilerinin ana eksikliği RF spektrumundaki yetersizliktir. Son zamanlarda yapılan bir piyasa analizi raporu [3], 2015 yılı sonunda 4,4 exabyte (EB) ve 2016 yılı sonunda 63% büyümeyle 7,2 EB olan aylık mobil veri trafiğinin 2021 yılına kadar 49 EB olacağını öngörüyor. 2017 yılında, toplam RF veri trafiği 11 EB'ı aştı ve mobil ağların kullanılabilir kapasitesi ile cihaz başına veri trafiği talebi arasında 97%'lik bir boşluk yarattı [4]. Bu veri trafiğindeki yüksek artışın ana nedenlerinden biri mobil cihaz başına veri tüketimini artıran yoğun mobil multimedya ve bulut tabanlı uygulamalardır [5]. Başka bir nedeni, Nesnelerin İnterneti (Internet of Things – IoT) gibi yeni teknolojilerin geliştirilmesi sonucunda bağlı cihazların artmasıdır. Bir araştırma [6], bağlı cihazların sayısının 2025 yılına kadar 100 milyara ulaşacağını öngörüyor. Öte yandan, RF spektrumu, EM spektrumun küçük ve lisanslı bir kısmı olup, ağır düzenlemelerle neredeyse tamamı kullanılmaktadır ve artan veri trafiği ile başa çıkamayacaktır. RF spektrumundaki bu yetersizlik, kablosuz ağların kapasitesini artırmayı ve mobil ağ operatörleri için yeni kablosuz hizmetler başlatmayı zorlaştırmaktadır [7].

B. RF Sinyallerinin EM Girişime Açıklığı

RF sinyallerinin EM girişime açıklığı, yani RF sinyallerinin farklı kaynaklardan üretilen başka RF dalgalarından etkilenmesi [8], RF spektrumunun bir başka önemli sorunudur. EM girişim, benzer veya aynı frekanslardaki EM sinyallerin birbiriyle kesiştiğinde birbirine faz-ıçığı eklenmesiyle yapıcı girişimle sonuçlanması, faz-dışı eklenmesiyle yıkıcı girişimle tamamen kaybolması veya bunların arasındaki

durumlarda sinyalin bozulmasıyla sonuçlanmasına denir. Örneğin, akıllı telefonlar gibi elektronik cihazlar tarafından üretilen sinyaller, uçağın acil durum sinyallerini engelleyebilir. Akıllı telefonlarımızda, aksi takdirde felaket sonuçlarına neden olabilecek olası girişimleri önlemek için “uçak modu” bulunmasının nedeni budur. Bir diğer EM girişim örneği, hizmet reddi saldırısı için kasıtlı girişim üretimi olan sinyal bozucuların (jammers) kullanımınıdır [9]. Başka bir deyişle, RF sinyalleri, sinyal bozucular kullanılarak kolayca engellenebilir. Ek olarak, RF spektrumu bantlarındaki kullanımın zamanla artması [10] lisanssız frekans bantları kullanan teknolojiler için büyük sorunlar oluşturmaktadır.

C. RF'in Bazı Yerlerde Yasaklanması

RF iletimleriyle ilgili başka bir sorun, emniyet ve güvenlik nedenlerinden dolayı bazı alanlarda yasaklanmış olmasıdır. Bu teknolojilerin enerji santralleri, nükleer santraller, petrokimya endüstrisi ve hastaneler gibi bazı alanlarda kontrol uygulamaları ve emniyet ile ilgili cihazlar için kullanılması yasaktır. Bu yasağın nedeni, bu alanlarda kullanılan cihazların EM radyasyonlara karşı hassasiyeti [11], duvarların RF sinyallerine karşı şeffaf olması (RF sinyallerinin duvarları aşabilmesi) ve iletilen hassas verilerin bu alanların dışındaki siber saldırganları tarafından erişilmesinin engellenmesi [12] vb. nedenlerdir [13]. Bununla birlikte, bu yerler uygun izleme ve verimli çalışma için hızlı ve birbirine bağlı veri sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Örneğin, tek bir enerji santralinde uygun bir izlemenin sağladığı tasarruf yüz binlerce dolara ulaşabilir [14].

III. GÖRÜNÜR IŞIKLA KABLOSUZ HABERLEŞME

Yukarıda bahsedilen hususlar ve sorunlar göz önüne alındığında, her yerde bulunan yeni genişbant kablosuz erişim teknolojisine olan talebin gün geçtikçe daha da arttığı görülmektedir. Gelecekteki kablosuz ağların gereksinimlerini karşılamak için şu anda farklı çözümler tartışılmakta ve önerilmektedir [15]. Bu çözümlerden biri, kablosuz haberleşme amacıyla optik spektrumu, yani görünür ışığı kullanmaktır.

A. Eski Optik Haberleşme Metotları

Tarih boyunca insanlık kablosuz haberleşme amacıyla farklı optik sinyalizasyon yöntemleri ve teknikleri geliştirmiştir. Mesaj göndermek için duman veya ateş kullanılması eski çağlara dayanır. Metalik malzemelerden yapılmış cilalı plakalar, Romalılar tarafından güneş ışığını yansıtarak uzun mesafelere mesaj göndermek için kullanılmıştır. 1790'larda, optik haberleşmenin ilkel bir sürümü olan semafor hatları sistemleri geliştirildi [16]. 1800'lü yılların başında Mors koduna dayanan helyograf geliştirildi. Bu helyografda güneş ışığının yanıp sönmesini belli bir yönde yansıtarak Mors koduyla mesaj göndermek için bir ayna kullanılıyordu ve buradaki ışığın yanıp sönmesi, ayna bir anda döndürülerek veya ışını kesmek için bir deklanşör kullanılarak elde ediliyordu [17]. 1880 yılında A. Graham Bell fotofonu icat etti ve 200 metreden daha uzun bir iletim mesafesine ses sinyalleri gönderebiliyordu [18]. Bu cihazda, güneş ışığının esnek bir aynadan yansması, sesin aynadaki etkisiyle titreşir ve bu titreşimler alıcıdaki bir selenyum hücresinin fotoelektrik özellikleri kullanılarak elektrik sinyallerine dönüştürülür [19]. Elektrik sinyalleri daha

sonra bir amplifikatör veya hoparlör tarafından tekrar ses dalgalarına dönüştürülür.

B. VLC Teknolojileri

Fotofon ve güneş ışığına dayanan diğer eski optik kablosuz haberleşme teknolojileri hiçbir zaman ticari bir ürün olarak ortaya çıkmamıştır, çünkü güneş ışığının haberleşme amacıyla verimli bir şekilde kontrol edilmesinin ve kullanılmasının bilinen bir yolu bulunmamaktadır. Bununla birlikte, ışık yayan diyotlardaki (LED'ler) son gelişmeler, LED'lerin kablosuz verici olarak kullanıldığı, LiFi olarak da bilinen, görünür ışık haberleşmesine (VLC) imkan sağlamaktadır [20]. VLC, kabaca 380 nm (789 THz) ile 780 nm (384 THz) dalga boyları arasında değişen lisanssız görünür ışık spektrumunu kullanır. VLC, LED'lerin veya LED'li aydınlatma armatürlerinin hem aydınlatma hem de haberleşme amacıyla ikili kullanımını içerir. Bu ikili kullanım, aydınlatma için kullanılan ışığın şiddeti insan gözüyle fark edilmeyen çok yüksek frekanslarla modüle edilerek haberleşme sinyalleri oluşturularak sağlanır. Aynı zamanda iki yönlü ve çok-girişli çok-çıkışlı (multiple-input multiple-output – MIMO) bir ağ olması da amaçlanmaktadır [21]. Büyük bir genişbant kapasitesine sahip olan, EM girişimlerden etkilenmeyen ve görünür ışığın duvarlardan geçememesi nedeniyle güvenli bir kablosuz haberleşme sunan VLC, gelecekteki kısa menzilli kablosuz ağlar için eksiksiz bir çözüm sunar. Ayrıca, aydınlatma ihtiyaçları için kullanılan LED'li aydınlatma armatürlerinin kullanımı da ek tasarruf sağlayacaktır. Dolayısıyla VLC, WiFi veya hücresele ağlara tamamlayıcı bir kablosuz erişim teknolojisi olarak kabul edilmektedir.

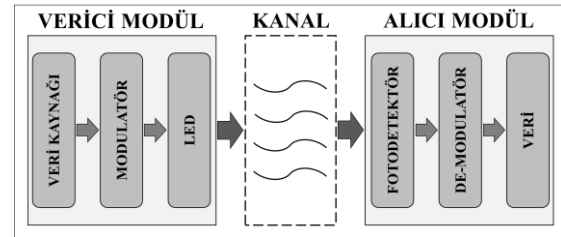
C. VLC Uygulamaları

VLC ile ilgili gelişmeler sadece araştırma veya laboratuvar ortamındaki çalışmalarla sınırlı değildir. İlk VLC tanıtımları 1990'lı yılların başında başladı ve ilk uygulama 2003'te gerçekleşti [22]. İç mekan haberleşme uygulamaları için beyaz LED armatürlerinin kullanılması ilk önce 2004 yılında önerildi [23]. Ucuz LED'lerin ortaya çıkması ve gelişmesiyle birlikte, VLC sistemleri pozisyon tespiti, akıllı sistemler, görüntü sensörü haberleşmesi, ses uygulamaları, ağ iletişimi ve estetik gibi çeşitli alanlarda araştırma ve uygulamalar sunarak gelişmiştir [24]. VLC'nin pratik işlevselliği Temmuz 2011'de gösterildi [25]. VLC sistemleri, müze gibi çeşitli yerlerde uygulanmıştır [26]. Mayıs 2015'te bir hipermarkette VLC teknolojisine dayanan ve konum doğruluğu 1 metreden az olan bir iç mekan konumlandırma sistemi (indoor positioning system – IPS) kuruldu [27]. Bu IPS, müşterileri istedikleri ürünlere yönlendirebiliyordu. 2016 yılında, aydınlatma gereksinimlerini aşmadan ışığın genlik modülasyonu yoluyla konumlandırma sinyallerini yayınlamak için LED armatürleri kullanan bir IPS projesi daha tanıtıldı [28]. Kasım 2017'de bir sergide, 43 Mbps'a kadar veri hızı sağlayan LiFi ofis armatürleri ve tüm LiFi bileşenlerini içeren, aynı zamanda 16 kullanıcıya kadar 45 Mbps veri hızı sunabilen bir LED iç mekan armatürü tanıtıldı [29]. Ocak 2018 yılında bir sergide, 48 metrekarelik kapsama alanıyla 108 Mbps indirme hızı ve 53 Mbps yükleme hızı sağlayabilen ilk LiFi ofis armatürü tanıtıldı [30]. Gelecekteki gelişmelerle, VLC teknolojisi havacılık [31], büyük veri ve IoT gibi çeşitli alanlarda olağanüstü uygulamalar sunacaktır.

IV. VLC'NİN TEMELLERİ

Bir VLC sisteminde veriler, LED'lerin ışık şiddeti yüksek frekanslarla, insan gözünün fark edebileceği frekansların çok ötesinde, modüle edilerek iletilir. Başka bir deyişle, bir VLC sistemindeki veri sinyalleri, ışık kaynaklarının ışık şiddetinde yüksek frekanslı değişikliklerdir.

Şekil 1'de gösterildiği gibi, bir VLC sistemi aslında bir verici modül, bir kanal ve bir alıcı modülden oluşur. Verici modül veri kaynağı, modülatör ve LED'i veya LED'li aydınlatma armatürünü içerir. Modülatör, kaynak verilerini elektrik sinyallerine dönüştürür. Bu arada verileri voltaj sinyaline dönüştürmek yerine, LED'lerin elektro-optik özelliklerinden dolayı akım sinyaline dönüştürmek daha uygundur [32].



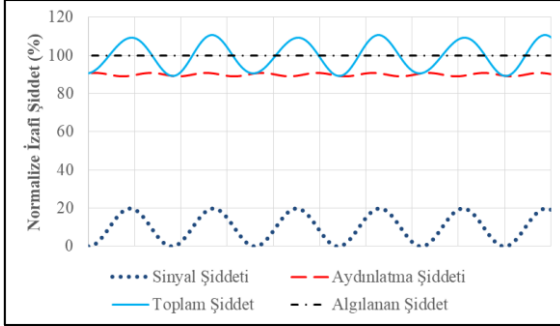
Şekil 1: VLC sisteminin şematik gösterimi

Hem aydınlatma hem de VLC için kullanılan bir modüle edilmiş ışık Şekil 2'de şematik olarak gösterilmektedir. Bu durumda, alıcı toplam şiddetteki değişimleri algılayabilirken, biz toplam şiddetin ortalaması olan sabit bir ışık yoğunluğunu algılayacağız.

VLC kanalı, iletilen sinyalin verici modülden alıcı modüle ulaşmak için geçtiği ortamdır. Bu ortam uzay boşluğu, hava, su veya bunların birleşiminden oluşabilir.

Bir VLC sisteminin alıcısı, iletilen verileri elde etmek için taşıyıcı sinyali algılayan ve demodüle eden bir modüldür. Gürültü de dahil olmak üzere sinyal, bir fotodetektör tarafından tespit edilir ve

elektrik sinyaline dönüştürülüp demodülatöre gönderilir. Demodülatör daha sonra iletilen verileri elde etmek için bu sinyali demodüle eder.



Şekil 2: Hem aydınlatma hem de VLC için modüle edilmiş bir ışık şiddeti örneğinin sematik gösterimi

V. SONUÇ

Bu bildiride, RF spektrumunun yetersizliği nedeniyle hızla artan veri trafiğine güçlü bir çözüm önerisi olarak VLC teknolojisinin kullanımı değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar ve gerçekleştirilen uygulamalar neticesinde VLC'nin, yakın gelecekte WiFi veya hücresele ağlara tamamlayıcı bir kablosuz erişim teknolojisi olarak kabul edilebileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] J. J. George, M. H. Mustafa, N. M. Osman, N. H. Ahmed ve D. M. Hamed, «A survey on visible light communication,» *International Journal of Engineering And Computer Science*, cilt 3, no. 2, pp. 3805-3808, 2014.
- [2] P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu ve P. Mohapatra, «Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges,» *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, cilt 17, no. 4, pp. 2047-2077, 2015.
- [3] Cisco White Paper, «Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2016-2017,» Feb. 2017.
- [4] S. Riurean, R. Stoica ve M. Leba, «Visible Light Communication for Audio Signals,» *International Journal of Communications*, cilt 2, pp. 24-27, 2017.
- [5] P. Rost, C. J. Bernardos, A. D. Domenico, M. D. Girolamo, M. Lalam, A. Maeder, D. Sabella ve D. Wübben, «Cloud technologies for flexible 5G radio access networks,» *IEEE Commun. Mag.*, cilt 52, no. 5, pp. 68-76, 2014.
- [6] Huawei White Paper, «Global connectivity index,» 2016.
- [7] US Federal Communications Commission White Paper, «Connecting America: the national broadband plan».
- [8] R. Gummadi, D. Wetherall, B. Greenstein ve S. Seshan, «Understanding and mitigating the impact of RF interference on 802.11 networks,» *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, cilt 37, no. 4, pp. 385-396, 2007.
- [9] C. W. Commander, P. M. Pardalos, V. Ryabchenko, S. Uryasev ve G.

- Zrazhevsky, «The wireless network jamming problem,» *J. Comb. Optim.*, cilt 14, no. 4, pp. 481-498, 2007.
- [10] A. Akella, G. Judd, S. Seshan ve P. Steenkiste, «Self-management in chaotic wireless deployments,» %1 içinde *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '05)*, Cologne, 2005.
- [11] S.-H. Ye, Y.-S. Kim, H.-S. Lyou, M.-S. Kim ve J. Lyou, «Verification of electromagnetic effects from wireless devices in operating nuclear power plants,» *Nuclear Eng. and Technol.*, cilt 47, no. 6, pp. 729-737, 2015.
- [12] P. D. Ewing, M. K. Howlader ve J. Dion, «Wireless network security in nuclear facilities,» %1 içinde *NPIC&HMIT 2010*, Las Vegas, 2010.
- [13] M. K. Howlader, P. D. Ewing ve J. Dion, «Issues associated with deploying wireless systems in nuclear facilities,» %1 içinde *NPIC&HMIT 2010*, Las Vegas, 2010.
- [14] H. Ma, «Coordinated transmission for visible light communication systems,» Ph.D. Dissertation, Univ. of British Columbia, Vancouver, 2017.
- [15] M. Agiwal, A. Roy ve N. Saxena, «Next generation 5G wireless networks: a comprehensive survey,» *IEEE Commun. Surveys & Tut.*, cilt 18, no. 3, pp. 1617-1655, 2016.
- [16] L. U. Khan, «Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges,» *Digital Communications and Networks*, cilt 3, no. 2, pp. 78-88, 2017.
- [17] H. Elgala, «A Study on the Impact of Nonlinear Characteristics of LEDs on Optical OFDM,» Ph.D. dissertation, SES School of Eng. and Science, Jacobs Univ., Bremen, 2010.
- [18] A. G. Bell, «Selenium and the Photophone,» *Nature*, cilt 22, no. 569, pp. 500-503, 1880.
- [19] E. O. Dieterich, «Influence of annealing on the characteristics of light-sensitive selenium,» MS Thesis, State University of Iowa, 1914.
- [20] M. Uysal, C. Capsoni, Z. Ghassemlooy, A. Boucouvalas ve E. Udvary, *Optical wireless communications: an emerging technology*, Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [21] S. Dimitrov ve H. Haas, *Principles of LED light communications: towards networked Li-Fi*, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2015.
- [22] N. Sklavos, M. Hübner, D. Goehringer ve . P. Kitsos, «VLC Technology for Indoor LTE Planning,» %1 içinde *System-level design methodologies for telecommunication*, Switzerland, Springer, Cham, 2014, p. 28.
- [23] T. Komine ve M. Nakagawa, «Fundamental analysis for visible-light communication system using

- LED lights,» *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, cilt 50, no. 1, pp. 100-107, 2004.
- [24] S. Sagar, D. Lal ve S. Dahiya, «Visible light communication,» *International Journal of Engineering Research and Development*, cilt 11, no. 1, pp. 36-40, 2015.
- [25] S. M. Riurean, A. A. Nagy, M. Leba ve A. C. Ionica, «A small step in VLC systems – a big step in Li-Fi implementation,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, cilt 294, no. 1, p. 012047, 2018.
- [26] «Li-Fi Technology Applications - Hospital, Office, Home, etc.,» Oledcomm, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.oledcomm.com/solutions/>. [Erişildi: 16 January 2019].
- [27] M. Wright, «Philips Lighting deploys LED-based indoor positioning in Carrefour hypermarket,» *LEDs Magazine*, 21 May 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ledsmagazine.com/articles/2015/05/philips-lighting-deploys-led-based-indoor-positioning-in-carrefour-hypermarket.html>. [Erişildi: 16 January 2019].
- [28] A. Jovicic, *Qualcomm® Lumicast™ : A high accuracy indoor positioning system based on visible light communication* April 2016, Qualcomm, 2016.
- [29] «LuxLive 2017 Review,» DMN, 27 November 2017. [Çevrimiçi]. Available: <https://dmndesignbuild.com/luxlive-exhibition-2017-review/>. [Erişildi: 16 January 2019].
- [30] «World’s first Li-Fi light panel launched,» *Lux Magazine*, 14 February 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://luxreview.com/article/2018/02/world-s-first-li-fi-light-panel-launched/>. [Erişildi: 16 January 2019].
- [31] D. Flynn, «Airbus wants to upgrade WiFi to the speed of light,» *Australian Business Traveller*, 10 June 2016. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ausbt.com.au/airbus-wants-to-upgrade-wifi-to-the-speed-of-light>. [Erişildi: 16 January 2019].
- [32] O. Narmanlioglu, R. C. Kizilirmak, F. Miramirkhani, S. Safaraliev, S. M. Sait ve M. Uysal, «Effect of wiring and cabling topologies on the performance of distributed MIMO OFDM VLC systems,» *IEEE Access*, cilt 7, pp. 52743-52754, 25 April 2019.