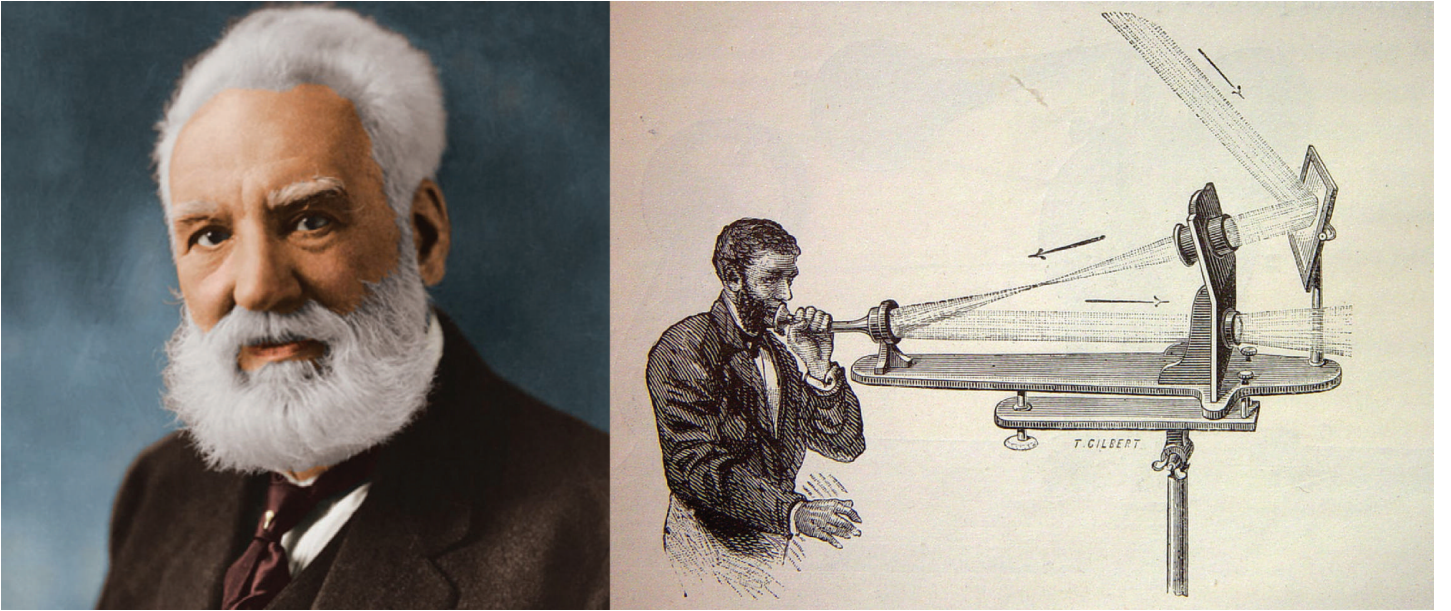


HABERLEŞME TEKNOLOJİSİNDE YENİ DEVRİM: GÖRÜNÜR IŞIKLA HABERLEŞME (LI-FI)

Anıl YEŞİLKAYA - Erdal PANAYIRCI - Harald HAAS

University of Edinburg doktora öğrencisi - Khas öğretim üyesi - University of Edinburg öğretim üyesi



Şekil-1. Alexander Graham Bell ve icadı Photophone

Kadir Has Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği öğretim üyesi Prof. Dr. Erdal Panayırca yönetiminde yürütülen LiFi (Light-Fidelity) ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları uluslararası işbirliği ve ödüllerle meyvelerini vermeye devam ediyor. 2016 yılında, IEEE GLOBECOM'a sunulan ortak makale Panayırca'ya meslektaşlarıyla birlikte “En İyi Makale Ödülü”nü kazandırdı.

Alexander Graham Bell'in 1889 yılında telefonun icadı ile başlayan haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler geçtiğimiz yüz yılı aşkın bir sürede baş döndürücü bir hızla devam etmiş ve öyle anlaşıyor ki bundan sonra daha da hızlanarak sürecektir. Bunun temel nedeni, dünyamızda üretilen bilginin her on yılda bin kat artmakta olmasıdır. Yakın gelecekte (2020'li yıllarda) üretilecek olan toplam bilginin 44 zettabyte (zetta= 10^{21} yani 1 den sonra 21 tane sıfır) civarında olacağı tahmin edilmektedir ve bu rakam yaklaşık olarak tüm evrende var olan yıldız sayısına yakındır. Bu akıl almaz boyutlardaki bilgi yığınının en önemli üreticisi ise sayıların 2020'li yıllarda 80 milyara yakın olacağı tahmin edilen nesneler (“nesnelerin interneti”, *Internet-of-things*) ve insanlardır. En basit haliyle bir rüzgâr türbini bile günde 10 terabyte'a (tera= 10^{12}) yakın bilgi üretebilme kapasitesine sahiptir.

Bu kadar büyük hacimdeki bilginin işlenmesi, güvenli olarak saklanması ve bir yerden diğer bir yere iletimi için son derece ileri haberleşme ve bilişim teknolojilerine gereksinim vardır. Ayrıca, masif nesneler arası haberleşme teknolojileri ve bulut sistemlerinin gelişimine paralel olarak, anlık bilgiye erişimin de kolayca sağlanması büyük önem kazanmakta ve bu konuyla ilgili yeni teknolojilerin geliştirilmesine çalışılmaktadır.

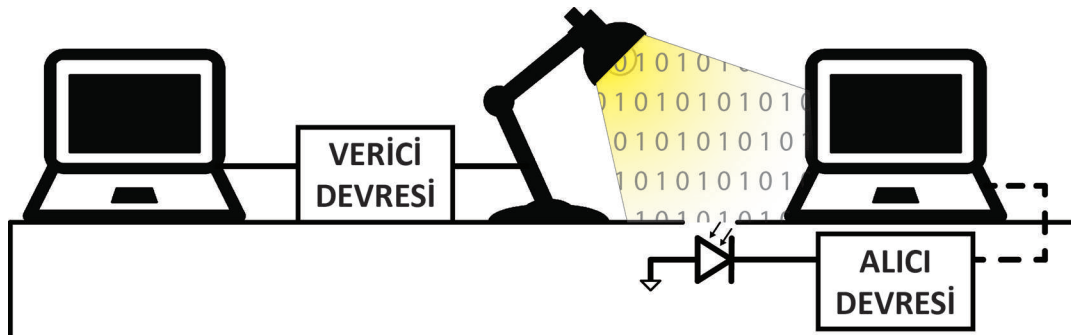
Bilginin bir verici-alıcı vasıtasıyla, örneğin cep telefonlarıyla iletimi halen radyo dalgalarını kullanan kablosuz mobil haberleşme sistemleriyle sağlanmaktadır. Ancak bu kadar büyük kapasite ve hızla bilginin iletilmesi için elektromanyetik spektrumda çok daha yüksek frekans bantlarına çıkılması gerekmektedir. Bu bakımdan, 5. Kuşak (5G) kablosuz haberleşme sistemleri kanımca erişilebilecek en yüksek radyo frekanslarıyla (milimetre dalga bandı) çalışan son kuşak haberleşme sistemi olacaktır. 5G'nin ötesinde ise artık haberleşmenin optik domainde ağırlık kazanacağı anlaşılmaktadır. Optik spektrumun çok yüksek bilgi taşıma kapasitesine sahip olma niteliğinden dolayı, özellikle aydınlatma amacıyla son yıllarda çok yaygın olarak kullanılmaya başlanan LED'lerin (*light emitting device*) bu amaç için büyük bir potansiyel kaynak olduğu anlaşılmıştır.

Bu nedenle günümüzde, LED veya eşdeğer görünür ışık kaynaklarıyla yüksek hızlarda bilgi iletiminin sağlayabilen optik haberleşme sistemlerinin tasarımı üzerine yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Işıklı haberleşme aslında çok eskilere dayanır. Örneğin Roma imparatorluğu zamanında, Roma ordusu güneş ışığının bir aynadan yansımaları kullanarak bilgi iletimini sağlamıştır. Daha sonraları insanlar ateş ve lamba ışığından yararlanarak karşı tarafla haberleşmeye çalışmışlardır. Ancak gerçek anlamda ışıklı haberleşme teknolojisindeki gelişmeler Alexander Graham Bell'in, telefonu icat ettikten hemen sonra, herkesin pek bilmediği yeni bir icadı olan ve *photophone* diye adlandırdığı, zamanına göre çok özgün bir ışıklı haberleşme sisteminin tasarımıyla başlamıştır diyebiliriz (Bkz. Şekil 1). Sesin güneş ışığıyla iletimini sağlayan bu icadından kendisi o kadar etkilenmiştir ki, hep, *photophone*'un hayatında yaptığı, hatta telefonda daha önemli, “en büyük icadı” olduğunu söylemiştir. Daha da ötesi, yeni doğan kızına Photophone ismini vermeye çalışmış ancak eşinin itirazı üzerine bu dileğinden vazgeçmiştir.

Yukarıdaki paragrafta da belirtildiği gibi, 2020 yılına kadar dünyada LED'lerle aydınlatma oranının yüzde yüze yaklaşacağı tahmin edilmektedir. LED'lerin düşük elektrik enerjisiyle yüksek parlaklıkta ışık yayması bunların aydınlatma amacıyla kullanımını çok cazip hale getirmektedir. Bu nedenle LED'lerin yakın bir gelecekte çok geniş ölçekte aydınlatma amacıyla kullanılacak olması, bunların ayrıca “görünür ışıkla haberleşme” için yeni bir potansiyel kaynak olduğunu göstermektedir. LiFi (*Light-Fidelity*) adı verilen görünür ışıkla haberleşme teknolojisi sahip olduğu yüksek bilgi taşıma kapasitesi, ucuz uygulama kolaylığı ve sağlık açısından olumsuz etkileri olmaması sebebiyle, günümüz ve geleceğin haberleşme gereksimini en iyi bir biçimde sağlayabilecek bir çözüm gibi gözükmektedir. LiFi, Edinburgh Üniversitesi, Dijital Haberleşme Bölümü Başkanı Prof. Harald Haas tarafından görünür ışıkla haberleşme için verilen ve günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir isimdir.

Yüksek hızda bilgi transferini mümkün kılan LiFi sisteminin gerçekleştirilmesi için herhangi bir marketten alınabilecek LED ampuller ile fotodiyot isimli optik alıcıların kullanılması yeterli olmaktadır. Şekil 2'de de görüleceği gibi LiFi teknolojisi, bir optik haberleşme sistemini LED'lerle birleştirerek yeni, ucuz ve verimli bir kablosuz haberleşme sistemine dönüştürmektedir. Verici, elektriksel sinyal formatında bilgi taşıyan veri bitlerini LED aydınlatmasıyla ışığa dönüştürmektedir. LiFi'nin alıcı biriminde ise, fotodiyotlar vasıtasıyla ışıkla taşınan bilgi bitleri yeniden elde edilerek haberleşme mükemmel bir biçimde sağlanmaktadır.



Şekil-2. Tipik LiFi uygulaması, verici (masa lambası) ve alıcı (fotodiyot) birimleri.

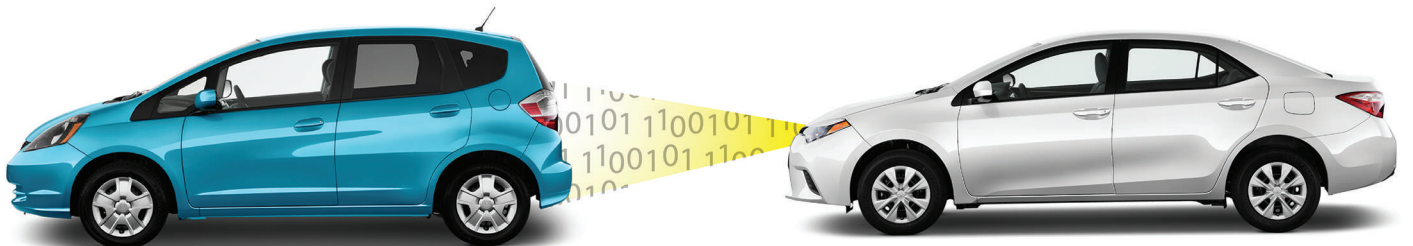
LiFi'in Kullanım Alanları

LiFi'in kapalı alan (kısa mesafeli) haberleşmesi için en uygun teknoloji olması ofis, uçak kabini, hastahaneler, kimyevi tesisler ve ev içi uygulamaları açısından oldukça geniş bir yelpaze sunmaktadır. LiFi teknolojisinin mevcut radyo frekans bantları ile girişimde bulunmaması ise bu iki teknolojinin en ciddi noktalarda dahi birlikte zararsız bir biçimde kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Olası yüksek hızlı LiFi uygulama alanları için şu potansiyel örnekler verilebilir:

- Ofis ortamları, toplu taşıma araçları ve ev haneleri içerisinde yüksek hızlı bilgi iletişimi, engelli yardımı, müze ve alışveriş merkezleri konumlandırmaları (Bkz. Şekil-3).
- Sokak lambaları - Sokaklarda kesintisiz internet ve haberleşme hizmetleri
- Araba ışıkları - Araçların birbirleri ve trafik ışıkları ile haberleşmeleri sonucu trafik takibi, kaza önlem sistemleri, konumlandırma hizmetleri kullanan akıllı şehirlerin ortaya çıkması (Bkz. Şekil-4).
- Su altı haberleşme sistemleri - Özellikle otonom su altı araçlar arası haberleşme, yüzen kimyevi/petrol tesislerinin kendi aralarında ve diğer otonom araçlarla haberleşmeleri.
- Nesnelerin interneti (IoT) ile tüm cihazların (buzdolabı, çamaşır makinesi, klima, fırın, aydınlatma sistemleri, kilit sistemleri etc.) otomasyonu.
- Fabrika ve üretim tesisleri otomasyonu - Üretim tesislerindeki cihazların akıllandırılması ve birbirleri arasındaki haberleşmeleri.



Şekil-3. VLC potansiyel uygulamaları - kapalı alan konum ve reklam hizmetler



Şekil-4. VLC potansiyel uygulamaları - otonom araç hizmetleri, trafik ve kaza bilgilendirme sistemleri

Khas'ta LiFi Çalışmaları ve Bir Başarı Öyküsü

Kadir Has Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde Prof. Dr. Erdal Panayırca yönetiminde lisans ve yüksek lisans öğrencileriyle birlikte LiFi ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmakta ve yüksek lisans tezleri ve lisans bitirme projeleri yürütülmektedir. Bu çalışmalar, Kadir Has Üniversitesi'nin de bir ortak olarak yer aldığı ve optik kablosuz haberleşme konusunda yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi amacıyla oluşturulan, OPTICWISE (Optical Wireless Communications) adlı bir Avrupa COST (European Corporation in Science and Technology) ve TÜBİTAK projesi kapsamı içinde yapılmaktadır. 2014-2016 yılları arasında üniversitemiz, Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümünde bu konularda üç yüksek lisans tezi ve üç de lisans bitirme projesi başarıyla sonuçlanmıştır. Görünür ışıqla haberleşme sistemlerinin tasarımlarıyla ilgili kuramsal ve bilgisayar simülasyonlara dayanan yüksek lisans tezleri daha sonra lisans bitirme projeleri tarafından donanımsal olarak aşama aşama gerçekleştirilmiş ve laboratuvar ortamında başarıyla çalıştıkları gösterilmiştir. Prototip gerçekleştirmeyle ilgili ilk çalışmalar 2016 yılında yapılan bitirme projesiyle başlamıştır. Bu çalışmada, 1. Kuşak LiFi sistemi diye adlandırdığımız, açma-kapama anahtarlama teknolojisine göre çalışan ve 64 kbit/saniye (saniyede 64000 bit) hızında bilgi iletebilen ilk görünür ışıqla haberleşme sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma En İyi Lisans Bitirme Projesi ödülünü kazanmıştır. 2017 yılında ise diğer bir lisans bitirme çalışmasında 2. Kuşak LiFi sistemi diye adlandırdığımız görünür ışıqla haberleşme sisteminin donanımsal tasarımı başarıyla sonuçlanmıştır. 4-PAM adlı bir haberleşme tekniği kullanılarak gerçekleştirilen bu sistemin 256 kbit/saniye hızında bilgi iletim kapasitesine eriştiği gösterilmiştir. Bu çalışma da yine En İyi Bitirme Projesi ödülünü kazanmıştır. Son olarak 2016 yılında, yapılan bir lisans bitirme projesinde 3. Kuşak LiFi diye adlandırdığımız ve bu konuda yapılan yüksek lisans tezlerinde önerdiğimiz, yeni ve özgün tekniğin kullanıldığı bir LiFi sistemiyle 1200 kbit/saniye bilgi iletim hızlarına erişilmiştir.

Bu çalışmalara paralel olarak, İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından kablosuz optik haberleşme konusunda desteklenen bir diğer projede de Kadir Has Üniversitesi olarak çalışmalarımız sürmektedir. Ayrıca, COST projesinde birlikte çalıştığımız Edinburgh Üniversitesi'nden Prof. Harald Haas'la bu konularda yakın işbirliği içinde ortak araştırmalar yapmaktayız. Üniversitemiz, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Anabilim dalında yüksek lisans tezlerini başarıyla tamamlayan iki öğrencimiz (Anıl Yeşilkaya ve Tezcan Çoğalan) tam burslu olarak Edinburgh üniversitesine doktora öğrencisi olarak kabul edilmişler ve halen Prof. Haas yönetiminde doktora tez çalışmalarını başarılı biçimde yürütmektedirler.

Son olarak bu konularda kazandığımız uluslararası bir başarıdan da söz etmek isterim. IEEE GLOBECOM, IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineering) kuruluşu tarafından düzenlenen ve telekomünikasyon konusunda en kapsamlı ve büyük uluslararası konferanslardan biridir. Her yıl dünyanın farklı ülkelerinde düzenlenen bu konferansa yaklaşık 2500'e yakın makale sunulmakta ve bunların da ancak % 40'ı konferansta sunulmak üzere kabul edilmektedir. 2016 yılında, Kuala Lumpur'da (Malezya) düzenlenen IEEE GLOBECOM'a sunduğumuz "Generalized LED Index Modulation Optical OFDM for MIMO Visible Light Communications Systems" adlı ortak makalemiz, bu konferansta sunulan tüm çalışmalar arasında, En İyi Makale Ödülü'nü almaya hak kazanmıştır. Bu çalışmada, daha önceden geliştirdiğimiz ve "LED Indis Modülasyonu" adını verdiğimiz yeni ve özgün teknik ilk kez görünür ışıqla haberleşme sisteminin tasarlanmasında uygulanmış ve sistemin gerek hız ve gerekse hatasız çalışma performansında son derece başarılı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Tüm bu çalışmalar, Amerika Birleşik Devletleri, Princeton Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği bölümünde Prof. Vincent H. Poor yönetiminde çalışan araştırma grubunun dikkatini çekmiş ve bu konularda geniş bir araştırma grubu oluşturularak birlikte çalışma olanağı ortaya çıkmıştır.

