

Received: 19.03.2020
Accepted: 07.05.2020

Görünür Işık Haberleşmesi ile İç Mekan Konum Belirleme

Emre GÖZÜAÇIK^{1*}, Levent GÖKREM¹

Özet

Büyük marketlerde alışveriş yaparken en büyük yakınmalardan biri de almayı düşündüğümüz ürünün nerede olduğunu bulamamaktır. Market zincirleri değişik uygulamalarla bu ihtiyacı gidermeye çalışmış ama burada da müşteriye verinin iletimi konusunda sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada bu sorunu çözmek için bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulama büyük kapalı alanlarda müşteriye ürünün konumu hakkında bilgi vermek için Görünür Işık Haberleşmesi (VLC) kullanmaktadır. VLC ile ışık kaynağından iletilen veriler On-off anahtarlama (OOK) modülasyonu ve Manchester kodlama ile alıcı yani fototransistöre ulaşmaktadır. Bu iletim ile veri alışverişi ve bilgi paylaşımı sağlanmıştır. Ayrıca Algılanan Sinyal Gücü (RSS) yöntemi ile verici ve alıcı arasındaki izdüşüm mesafesi belirlenmiştir. Matlab ortamında, kapalı alanlar için kullanılacak bir market simülasyonu oluşturulmuştur. Bu simülasyon üzerinden market müşterisi almak istediği ürünlerin yerlerini ve ilgili raflara giden en uygun güzergahı belirleyebilir. En uygun güzergah Floyd Warshall algoritması ile en kısa mesafeye bağlı olarak bulunmuştur. Büyük market alışverişlerinde veri iletimi, konum belirleme, lokasyon bilgisi oluşturma ve güzergah belirleme gibi işlemlerde VLC'nin iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Görünür Işık Haberleşmesi, Konum Belirleme, En Kısa Mesafe

Indoor Positioning with Visible Light Communication

Emre GÖZÜAÇIK^{1*}, Levent GÖKREM¹

¹Gaziosmanpaşa University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechatronics Engineering Department, 60250, Tokat, Turkey

Abstract

One of the biggest complaints when shopping in big markets is not find the place where we want to buy the product. Market chains tried to meet the need with different applications but also here were problems with about the transmission of data to the customer. In this study, an application has been developed to solve this problem. The application uses Visible Light Communication (VLC) to inform the customer about the location of the product in large enclosed spaces. The data transmitted from the light source by VLC reaches the receiver, the phototransistor, with On-off switching (OOK) modulation and Manchester coding. With this transmission, data exchange and information sharing were provided. In addition, the projected distance between the transmitter and the receiver was determined by the Received Signal Strength (RSS) method. In the Matlab environment, a market simulation has been created that can be used for closed areas. Through this simulation, the user can determine the locations of the products to be bought and the most appropriate route to the relevant shelves. The most suitable route was found depending on the shortest distance with Floyd Warshall algorithm. It has been observed that VLC performs well such as data transmission, location determination, creating location information and route determination in supermarket transaction.

Keywords: Visible Light Communication (VLC), Indoor Positioning, Shortest Path

*Corresponding Author, e- mail: emre.gozuacik@gop.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde kullanılan kablosuz haberleşme sistemlerinin kullanımının artması ile radyo frekansı (RF) bantları hızlı bir şekilde dolmaktadır. Bu artışın gelecekte kablosuz haberleşme sistemlerinin kullanımını kısıtlaması beklenmektedir. Dolayısıyla alternatif haberleşme sistemlerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır. Bu sistemlerden biri de veri iletimini ışık yoluyla yapan Görünür Işıklı Haberleşme (VLC) sistemleridir. 1970 yılında Corning Anonim Şirketi tarafından lazer ile optik haberleşmenin ilk örnekleri verilmiş, 2003'de Japonya Keio Üniversitesi Nakagawa Laboratuvarında LED kullanarak veri iletimi sağlanmış olmasına karşın kablosuz haberleşme sistemleri içine 2007'de JEITA (Japon Elektronik ve Enformasyon Teknolojisi Endüstri Ortaklığı / Japan Electronics and Information Technology Industries Association's) standartlarının belirlenmesiyle eklenmiştir [1]. VLC sistemleri; Wi-fi, bluetooth, zigbee, RF gibi kablosuz haberleşme araçlarına alternatif olarak geliştirilmiştir. VLC sistemleri, yüksek hızlı veri aktarımı yapabilen çoklu katman teknolojisini destekleyen Kablosuz Ağ IEEE 802.15.7 standartına kısa mesafe optik haberleşme adı altında eklenmiştir [2]. İnsan gözüyle görülebilen dalga boyları (375-780nm) arasında bulunduğu için görünür ışıkla haberleşme ismini almıştır.

VLC sistemlerinde verici olarak LED, lazer gibi ışık yayan diyotlar kullanılmaktadır [3]. LED ışık kaynakları sayesinde VLC sistemleri kullanılabilir hale gelmektedir. Aktarılmak istenen verinin ışık kaynağının çok hızlı bir şekilde açılıp kapanması ile gerçekleştirilmesi, ışık kaynağının önemini belirtmektedir. LED kaynaklar ise 20 MHz'den fazla açma-kapama hızına sahip, farklı renklerde ışık üretebilen ve ucuz ışık kaynakları olarak VLC sistemlerinin kullanımı için uygun görülmektedir. Bu sistemlerde alıcı olarak ise fototransistör, fotodiyot gibi yarıiletkenlerin yanısıra kameralar da kullanılabilir [4,5]. Alıcının ışık kaynağından daha yüksek bir çalışma frekansına sahip olması ışığın açık-kapalı bilgisini algılayabilmesi için gereklidir.

Bir ışık kaynağının VLC sistemleri için uygun olabilmesi IEEE 802.15.7 standartlarında belirtilmiş kırpışmanın 200 Hz'den (<5ms) daha hızlı olmasına bağlıdır. Aktarılan verinin saniyede aktardığı bit hızı bunu karşılarsa da sıralı gelebilecek '1' ve '0' verisi kırpışma etkisi yaratabilir. Bu durumda insan sağlığı olumsuz etkilenebilir. Kırpışma etkisini önlemek için veri kodlama yöntemleri (RLL, Manchester Kod, vb.) kullanılmaktadır [1,3]. Veri kodlama yöntemleri ile oluşturulan verinin algılanabilmesi için taşıyıcı sinyaller kullanarak sinyalin modülasyonu sağlanmaktadır. Bu modülasyon yöntemleri (OOK, Pulse Modülasyonu, Ofdm, Renk Kaydırma-CSK modülasyonu, vb.) sayesinde verilerin aktarılması ve algılanması kolaylaşmaktadır [6,7].

Kapalı alanlarda konum belirlemek için diğer haberleşme sistemleri ile kullanılabilen yöntemler büyük çoğunlukla VLC sistemleri için de kullanılabilir [8]. Bu yöntemler (RSS, ToA, TDoA, AoA) sırasıyla algılanan sinyal gücüne, sinyal varış zamanına, birden fazla verici için sinyal varış zamanı farkına ve sinyal varış açısına göre alıcı ve verici arasındaki konum ilişkisini vermektedir [9].

Kapalı alanlarda konum belirleme kablosuz haberleşme sistemleriyle kullanılmaktadır. Infsoft Şirketi (2016), çıkardığı elektronik kitapta konum belirleme işleminin havaalanları, alışveriş merkezleri, istasyonlar, oteller ve fabrikalar gibi birçok alanda kullanılabilir olduğunu ve kullanım şekillerini açıklamıştır. Ayrıca bu işlemler için kullanılan GPS, Wi-fi, bluetooth ve VLC gibi sistemlerin özelliklerini vermiştir. Şirket VLC sistemlerini kullanım yerlerine göre sınıflandırmıştır. Işık kaynaklarının binalar için uygun ve yaygın olması, modern LED kaynaklarının enerji tasarrufu sağlaması, rahatsız edici veya aşırı masraflı olmaması gibi avantajlarının yanısıra verici yerleşiminin esnek olmaması, alıcı olarak telefon kullanımının özel uygulama gereksinimi ve ışık kaynakları kurulu olan binalar için ekstra masraflı olması gibi dezavantajları açıklamıştır [10].

Jerome and ark. (2014), kapalı ortamlar için tasarladıkları 12 ışık kaynaklı düzeneğinde her bir kaynaktan 8 Bitlik farklı veriler yollayarak kapalı alanlarda navigasyon çalışması yapmıştır. Tek alıcıyla gerçekleştirdikleri bu çalışmada başlangıç konumu bilgisini almış ve yönlendirme işlemi yapmışlardır [11].

Chizari ve ark. (2017), 5x5x3m bir oda simülasyonu, 4 ışık kaynağı, 0.85m yükseklikte bir fotodiyot ile doğruluk, verimlilik ve hız gibi özelliklerin kıyaslamasını yapmıştır. Bu kıyaslama için VOOK (Variable On-Off Keying / Değişken On-Off Anahtarlama) , MPPM (Multiple Pulse Position Modulation / Çoklu Darbe Pozisyon Modülasyonu) ve OPPM (Overlapping Pulse Position Modulation / Örtüşen Darbe Pozisyon Modülasyonu) çeşitlerini kullanmıştır. Bu çalışmada pozisyonlama hata payı 10 cm civarında olduğu görülmektedir [12].

Sharifi ve ark.(2016), yaptıkları çalışmada otomatik kontrole sahip robot tasarlamış ve bu robotun konum belirleme işlemini VLC kullanarak yapmışlardır. Farklı frekanslara sahip LED'ler ile RSS yöntemi kullanarak konumu belirlenen robotun hareketi sağlanmıştır [13].

Wang (2017), çalışmasında 4 adet ışık kaynağının konumlarında farklılık yaratarak iki farklı senaryo belirlemiş ve bu senaryolara bağlı olarak RSS yöntemiyle beraber PDoP (Position Dilution of Precision / Pozisyon Hassasiyet Kaybı) değerlerini incelemiştir [14].

Lv ve ark. (2017), üç LED ile oluşturdukları düzenekte iki adet alıcı kullanmış ve bunlardan birini ışık kaynaklarına daha yakın yerleştirmiştir. Doğruluk, kullanım kolaylığı, maliyet gibi açılardan konum belirleme yöntemlerinden ToA, TdoA, AoA ve RSS yöntemini değerlendirmiştir. AoA yönteminin daha hassas sonuçlar vermesine rağmen maliyet ve kullanım kolaylığı açısından RSS yöntemi ve Değer farkı yönteminin daha avantajlı olduğuna karar vermiştir. Fingerprint yöntemi ile ölçülmüş ve gerçek değerleri kıyaslamıştır. Sonuç doğruluk değeri bu çalışma ile 10cm'den 4 cm'e kadar geliştirilmiştir [15].

Marketsandmarket (2018), raporuna göre FSO (Free Space Optics – Optik Haberleşme Sistemleri) pazarının 2018'de 150 Milyon \$'lık CGAR (Yıllık Bileşik Büyüme Oranı) değerinin 2023'e kadar 1,45 Milyar \$'a ulaşması beklenmektedir. Aynı şekilde kablosuz haberleşme sistemlerine alternatif sağlağan VLC pazarının 2018'de 1,3 Milyar \$'dan 2023 yılında 75 Milyar \$'a gelerek %96,57'lik bir CAGR değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir [16].

PHILIPS (2016), yılında çıkardığı elektronik kitap ile VLC ve kapalı alanda konum belirleme hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca Carrefour (Lille/Fransa) hipermarkette yaptığı çalışma ile VLC sistemlerinin market uygulaması ve kullanım şekilleri ile ilgili bilgi vermektedir. Bu uygulama sayesinde müşterilerin ürün konumunu belirleme, fırsat ürünlere yönlendirme, kolay alışveriş ve zaman tasarrufu gibi avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir [17].

Bu çalışmada, VLC kullanılarak veri alışverişi ve aynı zamanda konum algılama işlemi yapılmıştır. Yapılan bu işlemler birleştirilerek bir market uygulamasına uyarlanmıştır. Kapalı alanlarda mekanların tespiti, nesnelere tespiti, nesnelere hakkında bilgi verebilme, kullanıcıyı yönlendirme gibi birçok alanda (ofis, market, müze, sinema, tiyatro, vb.) kullanılacak yöntemler denenmiştir. Bu özellikler bir market uygulaması için değerlendirilmiştir. Kapalı alandaki mekanlar ve nesnelere, reyonlar ve ürünleri olarak tasarlanmıştır.

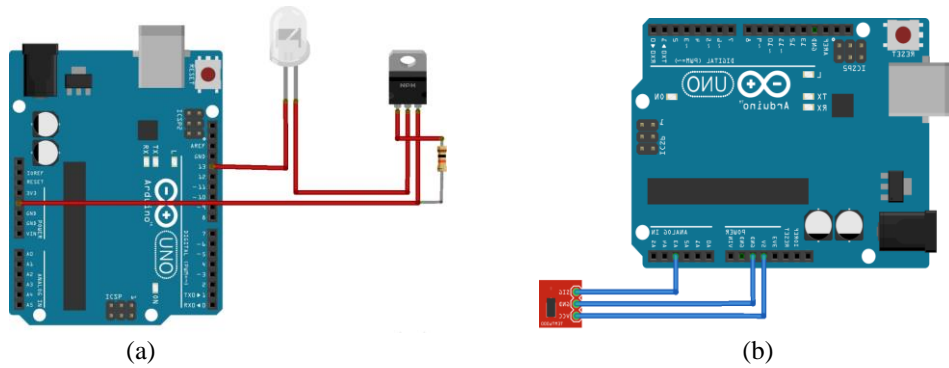
Bu çalışmada VLC sistemleri ve konum belirleme işlemi, arduino (Atmega328) ve Matlab programı ile simule edilmiştir. Verici ve alıcı kontrolü arduino ile sağlanmıştır. Veri iletiminin sağlanması ile LED'ler istenilen bilgiyi alıcıya aktarmıştır. LED'lerden alınan bilgi, alıcının konumunu belirlemek

için kullanılmış ve RSS yöntemiyle desteklenmiştir. Alıcının ulaşmayı planladığı konum, alıcının hedef noktası olarak belirlenmiştir. Alıcının ve hedef noktasının konum bilgileri, en kısa mesafe algoritması ile kullanılarak en uygun hareket güzergahı çıktısı alınmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyaller

VLC sistemleri basit olarak diğer kablosuz haberleşme sistemleri gibi alıcı, verici ve bunları kontrol eden işlemcilerden oluşur. Diğer kablosuz haberleşme sistemleri aksine veriyi elektromanyetik dalga olarak değil görünür ışık olarak aktarmaktadır. Bu sayede aydınlatma işleminin yapıldığı alanlarda ışık kaynağı ile haberleşme yapılması mümkün olmaktadır. İşlemcide üretilen bilgi '1' ve '0' ikili kod olarak dijital pine aktarılır. Bu pine bağlanmış olan verici sayesinde dijital veri ışığa dönüştürülür. Işığı algılayabilen sensörler kaynaktan gelen dijital veriyi çözümlemektedir [18].



Şekil 1. VLC Alıcı ve Verici Devreleri (a-Arduino-LED, b-Arduino-TEMP6000 Devresi)

Tablo 1. 1W Güç LED'i özellikleri

1 Watt Güç LED	Minimum	Maksimum
Gerilim (V)	3.2	3.6
Akım (mA)	350	350
Işık Şiddeti (lm)	100	110
Power Angle	110	140
Dalga Boyu (nm)	~450	~450

Tablo 2. TEMT6000 ışık sensörü özellikleri

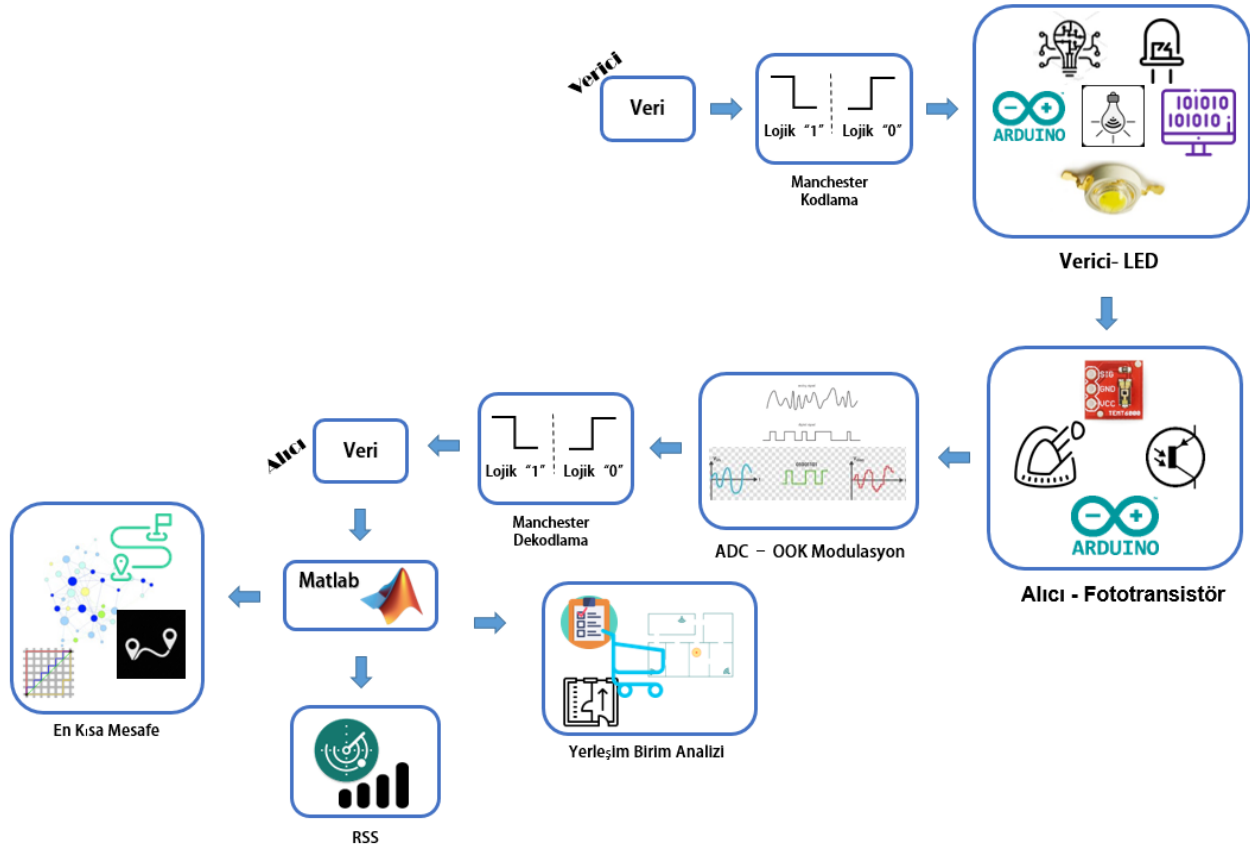
TEMT6000 Işık Sensörü	Optimal
Gerilim (V)	6
Akım-Ic (mA)	20
Kolektör Işık Akımı (mikroAmper) ; ~20lx Standart Işık Kaynağı	10
Kolektör Işık Akımı (mikroAmper) ; ~100lx Standart Işık Kaynağı	50
Yarı Hassasiyet Açısı	60
Spektral Bant Genişliği Aralığı(nm)	360-970

VLC sistemlerinde kullanılan ışık kaynağının hızlı bir şekilde açma-kapama yapabilen bir yapısı olmak zorundadır. Bu durum çalışmalarda ışık kaynağı olarak LED kullanımının önünü açmaktadır.

Sistemin test edilmesi için Şekil 1’de alıcı ve verici devreleri gösterilmiştir. Verici olarak Tablo 1’de özellikleri verilen 1W LED, IRFZ44N Mosfet devresiyle beraber kullanılmıştır. Alıcı olarak ise Tablo 2’de özellikleri verilen TEMP6000 Işık Sensörü Fototransistör kullanılmıştır. Şekil 1’de devreleri verilen 1W LED ve TEMP6000 ışık sensörü, Atmega328 (Arduino) ile kontrol edilmiştir [19,20].

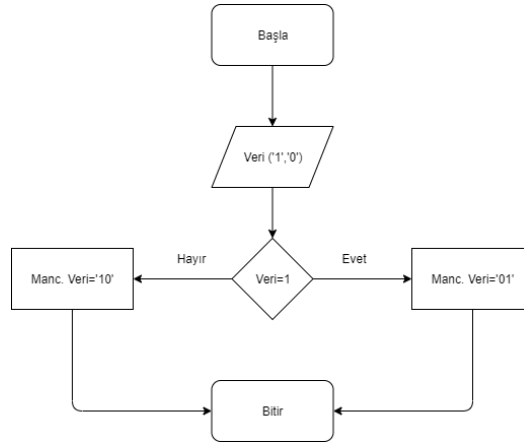
2.2. Yöntemler

Bu çalışmada kullanılan yöntemler ve blok diyagramı Şekil 2’de verilmiştir. VLC sistemlerinde kullanılan bu yöntemler sayesinde veri oluşturulur, modüle edilir, vericiden aktarılır, alıcının algılaması ve verinin işlenmesi gerçekleştirilir.



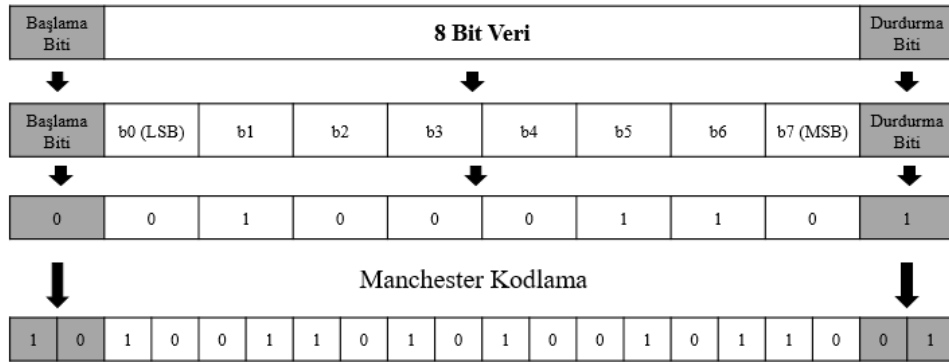
Şekil 2. Sistem Blok Diyagramı

Aktarılmak istenen bilgiler 8 bitlik veriler halinde kaydedilmektedir. Bu verilerin kolay algılanabilmesi için verilere başlama biti ‘0’ ve durdurma biti ‘1’ eklenmiştir. 10 Bitlik veriler kırışmanın önlenmesi için Manchester Kodlama ile 20 Bitlik veri haline gelir. Manchester kodlama verinin kolay ve hatasız bir şekilde aktarılmasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda ışık kaynağında oluşacak kırışma etkisini ortadan kaldıracaktır [1]. Temel olarak Şekil 3’de akış şemasında gösterildiği gibi veride bulunan 0 bitlerinin ‘10’, 1 bitlerinin ise ‘01’ olarak değiştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Son halini alan veri aktarılmak üzere dijital sinyal olarak LED’e gönderilmiştir [8].



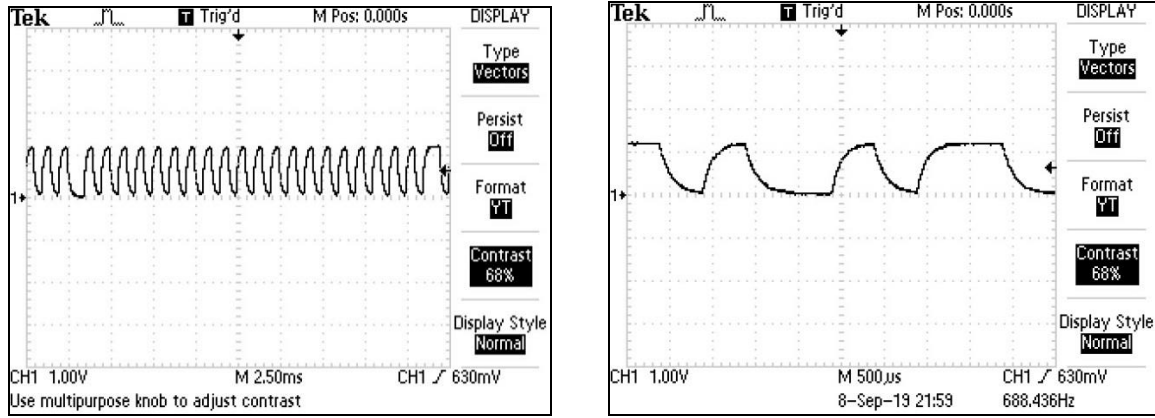
Şekil 3. Manchester Kodlama Akış Şeması

Aktarılmak istenen bilginin oluşması için 8 bitlik veriler oluşturulmuş, başlama ve durdurma bitleri eklenmiştir. 10 bitlik yeni veri Manchester kodlama ile 20 bitlik veriyi oluşturmaktadır. Şekil 4’de bu verinin ilk aşamadan son aşamaya kadar değişimi verilmiştir.



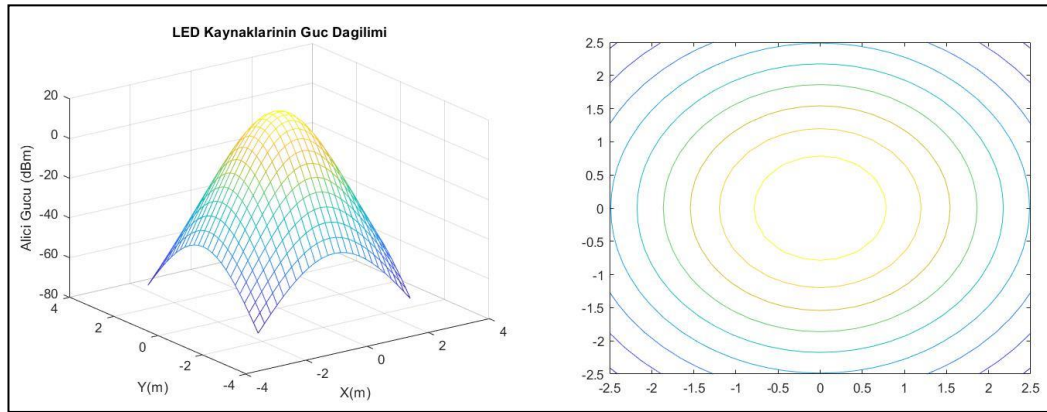
Şekil 4. Gönderilen Verinin Oluşturulması

TEMP6000 fototransistör sayesinde LED tarafından yayılan ışık Şekil 5’de gösterildiği gibi Arduino analog girişine uygulanır. Analog değer OOK (On-Off Keying / On-Off Anahtarlama) modülasyonu ile tekrardan ‘1’ ve ‘0’lardan oluşan dijital veri halini alır. OOK modülasyonu haberleşme sistemlerinde sinyalin aktarılmasını kolaylaştıran basit bir modülasyon tekniğidir. Elde edilen dijital veri tersine bir Manchester kodlama sayesinde ilk halini almaktadır. Başlama ve durdurma bitlerinin algılanması ile aktarılmak istenen bilgi okunmaya başlar. VLC sistemlerindeki veri aktarımı bu sayede sağlanmış olur.



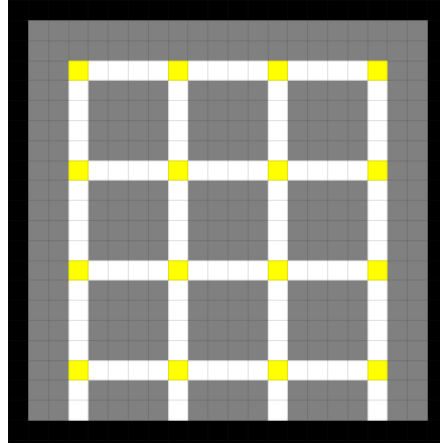
Şekil 5. TEMP6000 Çıkışı Analog Veri Ölçümü

Işık kaynağı ile aktarılan bilgiler farklı alanlarda kullanılmak üzere Matlab'a aktarılır. Bu veriler sayesinde LED altındaki alıcının LED'e olan uzaklığı RSS yöntemi ile belirlenir. RSS yöntemi diğer haberleşme sistemlerinde de kullanıldığı gibi konum belirleme amaçlı kullanılan ve sinyal gücüne bağlı bir yöntemdir. Şekil 6'da LED'in güç dağılım grafiği verilmiştir. Merkeze yakın noktalarda yüksek güç değerlerine sahip olduğu ve dairesel olarak azaldığı gözlemlenmiştir.



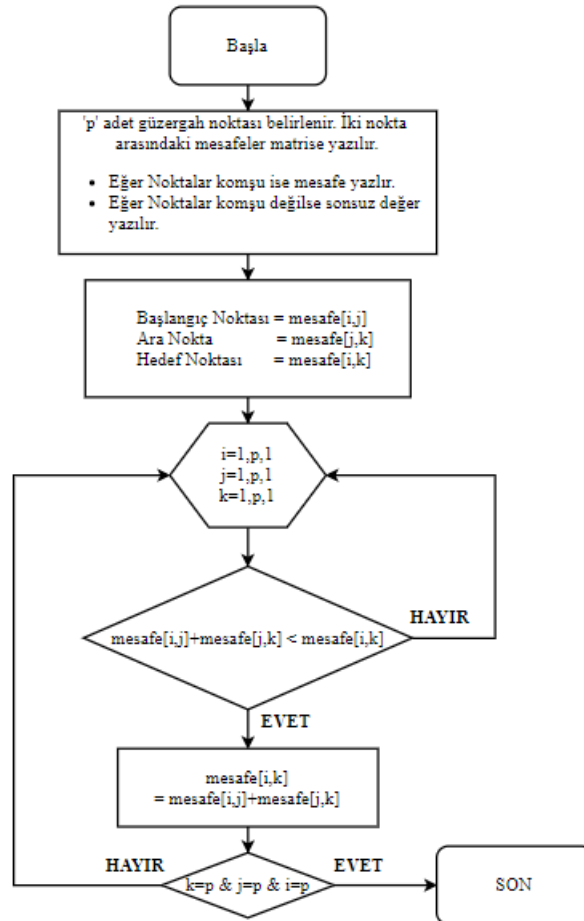
Şekil 6. LED Güç Dağılım Grafiği 3 Boyutlu ve İzdüşüm Gösterimi

Işık kaynaklarından veri alınabilmesi ve bunun günlük hayatta kullanılabilmesi için Matlab üzerinden ışık kaynaklarının yerleştirildiği bir ortam oluşturulmuştur. Bu kapalı mekan bir market örneği olarak düşünülmüştür. Şekil 7.'de verilen örnekte ışık kaynakları (Sarı ile gösterilmiş), yol (Beyaz ile gösterilmiş) ve geri kalan alan (Gri ile gösterilmiş). Gri alan bir market örneği düşünülerek ürün rafını temsil etmektedir.



Şekil 7. Matlab kapalı alan market gösterimi

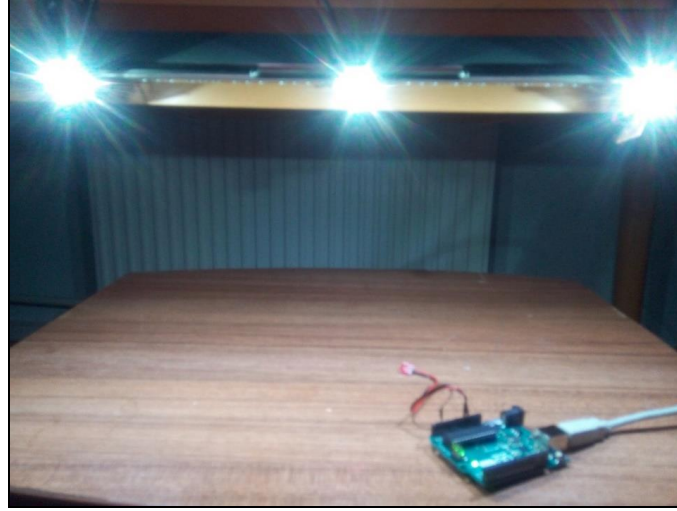
Şekil 7.de verilen kapalı ortam ve VLC sayesinde ışık kaynaklarının yerleri tespit edilebilmektedir. Işık kaynaklarının sabit olacağından aralarındaki mesafe farkı belirlenmiştir. En kısa mesafe bulunması için Şekil 8’de akış şeması verilen Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır. Floyd-Warshall algoritması ile iki ışık kaynağı arasındaki en kısa mesafe tespit edilmiş ve güzergah çizilmiştir [21].



Şekil 8. Floyd Warshall en kısa mesafe akış şeması

3. Bulgular ve Tartışma

Kapalı alanlarda VLC sisteminin gerçekleştirilmesi ve farklı alanlarda kullanımı üzerine denemeler yapılmıştır. Şekil 9’da gösterildiği gibi az sayıda ışık kaynağı ve alıcıyla, veri aktarımı ve konum belirleme üzerine testler yapılmıştır. Bu testler ile verici ile alıcı arasında farklı verilerin aktarılabilirdiği görülmüştür.



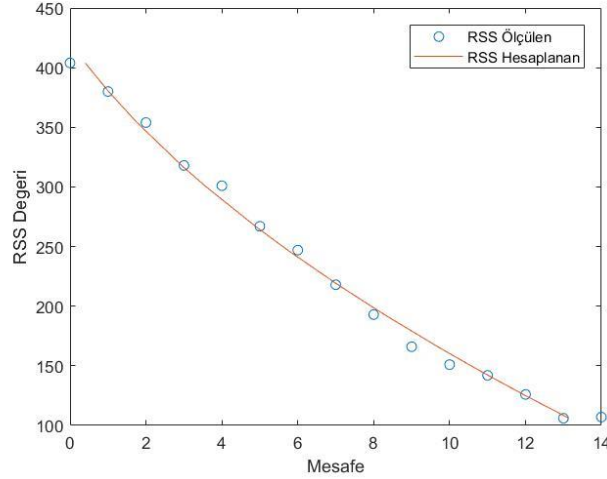
Şekil 9. 3 LED – VLC uygulama gösterimi

Veri aktarımı yaparken alıcının algılanan sinyal gücü ölçümü ile alıcı ve verici arasındaki izdüşüm ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm RSS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. RSS yönteminin kullanılabilmesi için önceden belirlenmiş mesafelerde ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu sayede fingerprint/parmakizi haritası oluşturulmuştur. Fingerprint yöntemi sinyallerin kapalı alanlardaki farklı karakteristik özelliklerinden yararlanılarak oluşturulur ve çoğunlukla RSS yöntemi fingerprint yöntemi olarak nitelendirilir [4]. Ölçümler yapılırken LED kaynağın 15 cm yükseklikte ve 15 cm yarıçap alan içerisinde, her 1cm’lik yatay düzlemde birden fazla ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Bu ölçümler esas alınarak Tablo 3’de görüldüğü gibi bir RSS değer tablosu oluşturulmuştur. Bu değerler matlab ile birlikte mesafe değişkenine bağlı ikinci dereceden bir RSS fonksiyonunu oluşturmuştur. Denklem 1’de verilen RSS Fonksiyonu sayesinde gerçek zamanlı olarak alıcının RSS değeri değerlendirilmiş ve LED ile aralarındaki izdüşüm mesafesi Matlab üzerinden görüntülenmiştir. Fingerprint değerlerine göre olması gereken mesafe değeri ile RSS değeri ile fonksiyondan üretilen değerler kıyaslaması Şekil 10’da verilmiştir. LED ve alıcı arasındaki izdüşüm mesafe farkı, market uygulaması için rafların konumunu belirleme ve yönlendirmede kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır.

$$F = 6.2345e-05 x^2 - 0.0746x + 20 \quad (1)$$

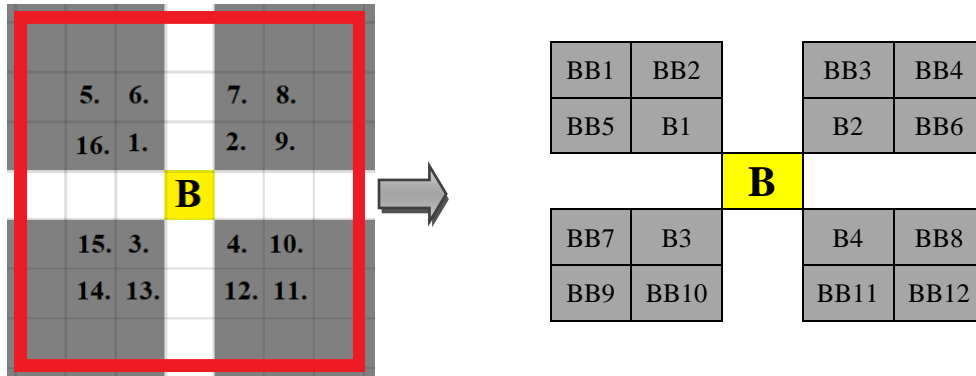
Tablo 3. Alıcı ve verici arasındaki mesafeye bağlı RSS ölçüm değerleri ve Fonsiyon Tahmini

Mesafe (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RSS	404	380	354	318	301	267	247	218	193	166	151	142	126	106	107
F(RSS)	0.40	1.01	1.76	2.94	3.55	4.88	5.73	7.05	8.28	9.69	10.51	11.02	11.94	13.14	13.08

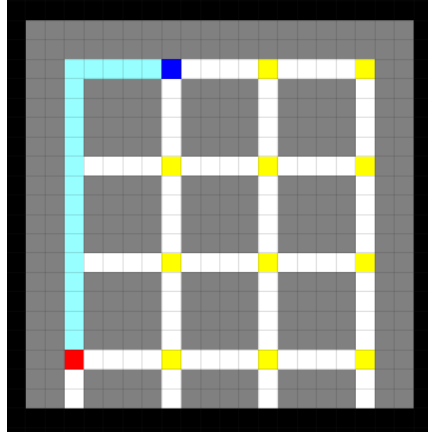


Şekil 10. Ölçülen RSS Değeri ve Fonksiyon çıktısının grafikte gösterimi

Kapalı alan simülasyonu ve market örneği için tasarlanmış ortam 16 adet ışık kaynağı, market yolu ve raflar Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 11’de ise bu 16 ışık kaynağı özelleştirilerek tek bir ışık kaynağı ve çevresi açıklanmıştır. Şekil 11’de görüldüğü gibi ‘B’ olarak isimlendirilmiş sarı alan ışık kaynağını, 1-16 arasında numaralandırılmış gri alan ise bu ışık kaynağının kapsama alanı içine giren rafları temsil etmektedir. Daha sonrasında ışık kaynağının etrafındaki bu 16 rafa 16 farklı ürünü temsil eden ürün kodları (B1, B2, B3, ..., BB11, BB12) yerleştirilmiştir. Aynı işlem geri kalan ışık kaynakları için de gerçekleştirilmiş ve kapalı alan market simülasyonu hazır hale getirilmiştir. Ardından Matlab üzerinden hedef ürün belirlenmiş ve almak istenilen hedef ürünün hangi ışık kaynağı altında olduğu belirlenmektedir. Şekil 12’de kullanıcının bulunduğu konum ‘kırmızı’ ve hedef konum ‘mavi’ ile gösterilmiştir. Alıcının bulunduğu konum ve hedef konumu sayesinde, ürüne ulaşması için en kısa güzergah Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 11. Simülasyon bir LED ve çevresinde bulunan ürünler gösterimi



Şekil 12. Hedef konuma en kısa güzergahın seçilmesi

4. Sonuç

Bu çalışma VLC sistemlerinin ışık kaynağı ile veri aktarması ve kapalı alanlarda konum belirleme yapması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bunun için RSS yöntemi kullanılmış ve ışık kaynağı ile alıcı arasındaki mesafe ölçülmüştür. Kapalı alanlarda kullanımı için bir simülasyon örneği hazırlanmıştır. Bir market tasarımı oluşturulmuştur. Işık kaynakları, raflar, yollar belirlenmiştir. Işık kaynaklarından veri aktarabilme ve alıcının yerini belirleme işlemlerini gerçekleştirebilen sistemde kullanıcının seçmesi gereken en uygun güzergah belirlenmiştir. Bu işlem ile kullanıcının kapsama alanı içerisinde olduğu ışık kaynağı ve konumu sisteme aktarılmış, almak istediği ürün hangi ışık kaynağının altındaysa o hedefe doğru en uygun güzergah çıkarılmıştır. Bu sistem sayesinde kullanıcı en kısa mesafeyi kullanarak, en kısa süre içinde bir alışverişi tamamlayabilir. Bu sistem, insanların sıklıkla kullandığı ve hedefleri belirli olmasına rağmen zaman kaybına sebep olan market alışverişlerinde kolaylık sağlamaktadır.

Işık ile veri aktarımı, ürün hakkında bilgi vermek için de kullanılabilir. Konum belirleme ve veri aktarma özelliği market örneğinde görüldüğü gibi her türlü kapalı alana aktarılabilir. Bir iş merkezinde odaların ve büroların konumlarına yönlendirme yapmak için VLC sistemleri kullanılabilir. Ayrıca bir sinema veya tiyatrodaki salonlar veya gösteriler hakkında bilgi vermek, bir sergide eseri tanıtmak ve ilgili olabileceğiniz bir başka esere yönlendirmek için VLC sistemleri tercih edilebilir. VLC sistemlerinin bu alanlarda kullanılabilmesi zamana ve bu sistemlerin özelliklerinin geliştirilmesine bağlıdır. Bunun için haberleşme sistemlerinin temel ihtiyaçlarından olan veri büyüklüğü, veri aktarım hızı, aktarılan verinin doğruluğu ve veri güvenliği gibi özelliklerin gelişimi VLC sistemleri için de önemli bir yere sahiptir.

Acknowledgements

Bu çalışma Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilimdalı 26.12.2019 tarihli “Görünür Işıklı Haberleşme ve Konum Belirleme” tezinden çıkarılmıştır.

5. Kaynakça

- [1] Khan, L. U., (2017). Visible Light Communication: application, architecture, standardization and research challenges, *Digital Communications and Networks*, Cilt 3, 78-88.

- [2] Rajagopal, S., Roberts, R. ve Sang-Kyu, L., (2012). IEEE 802.15.7 Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support, *IEEE Communications Magazine*, 72-82.
- [3] Ghassemlooy, Z., Alves, L. N., Zvanovec, S. ve Khalighi, M.-A., (2017). Visible Light Communications Theory and Applications, *Taylor and Francis Group*, Boca Raton.
- [4] Luo, J., Fan, L. ve Li, H., (2017). Indoor Positioning Systems Based on Visible Light Communications: State of Art, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(4), 2871-2894.
- [5] Ertuna, A. D., (2016). Görünür Işık Haberleşme Sistem Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul-Türkiye.
- [6] Ertürk, S., (2019), Sayısal Haberleşme, Birsen Yayıncılık, Tokat-Türkiye.
- [7] Uzun, Pınar, (2019). Görünür Işık Haberleşmesinde Modülasyon Türlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat-Türkiye
- [8] Gözüaçık, Emre, (2019). Görünür Işıklı Haberleşme ve Konum Belirleme, Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat-Türkiye.
- [9] Doughangi, H., (2017). Kapalı Alanda Konum Belirleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul-Türkiye.
- [10] Infsoft, (2016). *Indoor Positioning and Navigation*. Großmehring.
- [11] Jerome, K., Tony, V. ve Dhanaraj, V. R., (2014). Indoor Navigation Using Visible Light Communication, *Texas Instruments India Educators' Conference*, 46-52.
- [12] Chizari, A., Jamali, M. V., Abdollahramezani, S., Salehi, J. A., ve Dargahi, A., (2017). Visible light for communication, indoor positioning, and dimmable illumination: A system design based on overlapping pulse position modulation. *Elsevier*, (13).
- [13] Sharifi, H., Kumar, A., Alam, F., ve Arif, K. M., (2016). Indoor Localization of Mobile Robot with Visible Light Communication. *IEEE*.
- [14] Wang, Y., (2017). Indoor Localization Based on Visible Light Communication. Master of Science, Leigh University - Graduate and Research Committee, Pennsylvania.
- [15] Lv, H., Feng, L., Yang, A., Guo, P., Huang, H., ve Chen, S., (2017). High Accuracy VLC Indoor Positioning System With Differential Detection. *IEEE Photonics*.
- [16] Marketsandmarkets. (2018). Free Space Optics (FSO) and Visible Light Communication (VLC)/Light Fidelity (Li-Fi) Market by Component (LED, Photodetector, Microcontroller, and Software), Transmission Type, Application, and Geography - Global Forecast to 2023. Illinois, USA.
- [17] PHILIPS, (2016). Indoor Positioning White Paper, <https://cdn.fs.agorize.com/yYsIkB46SAegMUK3hnuz> . (Erişim tarihi: Ekim 4, 2019).
- [18] Windlin, C., (2016). Visible Light Communication as a Material for Design, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.
- [19] Gökrem, Levent, Durgun, Mahmut, ve Durgun, Yeliz, (2019). Indoor Location Control with Visible Light Communication. *IEEE, International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, 314-316.
- [20] Durgun, Mahmut ve Gökrem, Levent (2020). VLC4WoT : Visible Light Communication for Web of Things, *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, Vol. 14, No. 4, (2020), 1502-1519. DOI: 10.3837/tiis.2020.04.006
- [21] Voroncovs, A., (2015). The Floyd-Warshall Algorithm, https://www-m9.ma.tum.de/graph-algorithms/spp-floyd-warshall/index_en.html .(Erişim tarihi: Ekim 4, 2019).