



GÖRÜNÜR IŞIKLA HABERLEŞME ve

KONUM BELİRLEME

EMRE GÖZÜAÇIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Dr. Öğr. Üyesi Levent GÖKREM

Aralık - 2019

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖRÜNÜR IŞIKLA HABERLEŞME ve KONUM BELİRLEME

EMRE GÖZÜAÇIK

TOKAT
Aralık - 2019


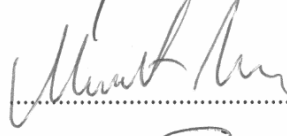
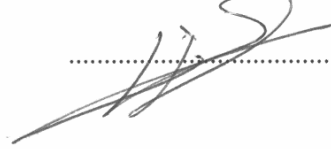
Her hakkı saklıdır

Emre GÖZÜAÇIK tarafından hazırlanan “**Görünür Işıklı Haberleşme Ve Konum Belirleme**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 26 ARALIK 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Levent GÖKREM
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURGUN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Doç. Dr. Ünal KURT
Amasya Üniversitesi


.....

.....

.....

ONAY


Prof. Dr. Çetin ÇEKİC
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

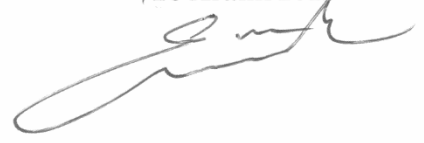
27.12.2019

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

EMRE GÖZÜAÇIK

26 Aralık 2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖRÜNÜR IŞIKLA HABERLEŞME ve KONUM BELİRLEME

EMRE GÖZÜAÇIK

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ LEVENT GÖKREM)

Haberleşme insan hayatında her zaman önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu önem teknoloji ile birlikte haberleşme sistemlerinin gelişmesini ve kullanım alanlarının genişlemesini sağlamaktadır. Günümüz haberleşme sistemlerinin kullanım alanlarının artması da yeni haberleşme sistemlerinin önemini arttırmaktadır. Bu yeni haberleşme sistemlerine bir örnek de görünür ışıkla haberleşme sistemleri (VLC) olarak karşımıza çıkmaktadır. VLC sistemleri aydınlatma amacıyla kullanılan ışık kaynağının bilgi aktarımı için kullanılmasını sağlamaktadır. Yeni bir haberleşme sistemi olarak ortaya çıkan VLC teknolojiyle beraber geliştirilmekte ve birçok alanda kullanılabilir hale gelmektedir. Kullanım alanlarından biri de kapalı alanlarda konum belirleme olarak görülmektedir. Kapalı alanlarda temel ihtiyaç olarak görülen aydınlatma araçlarının haberleşme için kullanılması, konum belirlemek için de kullanılabileceğini göstermektedir. VLC sistemleri ile bilgi alışverişi sağlamak ve aynı zamanda kapalı alanlarda konum belirlemek, bu sistemin farklı alanlarda farklı fonksiyonlarda kullanılabileceğini göstermektedir. Bu tez çalışmasında da VLC sistemlerinin kullanım şekli ve kullanım alanları, kapalı alanlarda konum belirleme, konumu belirlenen alıcı ve vericiler üzerinden yönlendirme veya yol bulma gibi çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların insanlara nasıl kolaylık sağlayacağı ve farklı alanlarda geliştirilmesi ile VLC sistemlerinin hayatımızın birçok alanında nasıl kullanılabileceği görülmüştür.

2019, 91 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Görünür Işıkla Haberleşme / VLC, Kapalı Alanda Konum Belirleme / IPS, Kapalı Alan Navigasyon ve Yer Saptama

ABSTRACT

MASTER THESIS

VISIBLE LIGHT COMMUNICATION and INDOOR POSITIONING

EMRE GÖZÜAÇIK

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF MECHATRONICS ENGINEERING

SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. LEVENT GÖKREM

Communication is always an important place in human life. This importance, together with technology, enables the development of communication systems and the expansion of their usage areas. Increasing usage areas of today's communication systems also increases the importance of new communication systems. An example of these new communication systems is visible light communication systems (VLC). VLC systems enable the light source used for illumination to be used for information transfer. VLC, which emerged as a new communication system, is being developed together with the technology and it can be used in many fields. One of the areas of usage is seen as indoor positioning systems (IPS). The use of lighting means, which are considered as the basic need in closed areas, for communication, shows that it can be used to determine the location. Providing information transfer with VLC systems as well as locating indoors shows that this system can be used in different functions in different areas. In this thesis, the usage and usage areas of VLC systems, indoor positioning system, routing or finding paths through the receivers and transmitters which have been determined are carried out. It has been seen how these studies will provide convenience to people and how VLC systems can be used in many areas of our lives by developing them in different fields.

2019, 91 PAGE

KEYWORDS: Visible Light Communication / VLC, Indoor Positioning System / IPS, Navigation and Localization Indoor Area,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana yardımlarını eksik etmeyen, gerekli yönlendirmelerle çalışmama yön veren, bu çalışmada ve hayatımın geri kalan kısmında da kullanacağımı düşündüğüm tavsiyeleri ve bana kattığı tecrübelerinden dolayı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Levent GÖKREM' e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Akademik çalışmalarında bana her yönden destek veren Mekatronik Mühendisliği Bölüm Üyelerine ve iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.



EMRE GÖZÜAÇIK

26 Aralık 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Kablosuz Haberleşme	4
2.1.1. Elektromanyetik dalgalar	5
2.2. Görünür Işıkla Haberleşme	7
2.2.1. Görünür ışıkla haberleşme ve tarihçesi.....	8
2.2.2. Görünür ışıkla haberleşme bileşenleri	11
2.2.3. Görünür ışıkla haberleşme veri kodlama teknikleri.....	20
2.2.4. Kanal kodlama yöntemleri.....	23
2.2.5. Görünür ışıkla haberleşme modülasyon teknikleri	25
2.2.6. VLC ve kullanım alanları	33
2.3. Konum Belirleme.....	36
2.3.1. Açık alan konum belirleme.....	36
2.3.2. Kapalı alan konum belirleme	37
2.3.3. Konum belirleme yöntemleri	37
2.4. VLC ile Lokasyon Bilgisi Verme	41
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	43
3.1. Materyaller.....	43
3.1.1. Verici	43
3.1.2. Alıcı	44
3.1.3. İşlemci.....	45
3.2. Yöntemler	46

3.2.1. Manchester kodlama	48
3.2.2. Modülasyon – on/off anahtarlama	49
3.2.3. RSS yöntemi ile konum belirleme	50
3.2.4. Bilgi aktarımı ve okuma	51
3.2.5. Yerleşim birimi analizi	53
3.2.6. Floyd warshall algortiması.....	54
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	56
4.1. Sistem Tasarımı	56
4.1.1. Devre tasarımı ve inceleme.....	56
4.1.2. Dış tasarım LED ve alıcının yerleştirilmesi	57
4.1.3. Sistem güç dağılım analizi	58
4.2. Fingerprint / Parmak İzi Yöntemi	58
4.2.1. Parmak izi yöntemi ve ölçümlerin yapılması	58
4.2.2. Parmak izi yöntemi için belirli fonksiyon oluşturma.....	59
4.3. Kapalı Alan Simülasyonu ve LED'lerin Yerleştirilmesi	59
4.3.1 Kapalı alan simülasyonu ve market uygulaması örneği.....	60
4.4. Gerçek Konum ve Tahmini Konum Değerlendirmesi	63
5. SONUÇ	65
6. KAYNAKLAR.....	67
7. EKLER	70
7.1. Verici Kodu.....	70
7.2. Alıcı Kodu.....	74
7.3. Matlab ve Arduino Bağlantısı ; En Kısa Mesafe ve Yol Bulma.....	84
7.4. Matlab Arduino Gerçek Zamanlı RSS Ölçümü ve Grafiği.....	89
8. ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

$\Phi_{1/2}$	LED Yarı aydınlık yarıçapı
bps	Bit per Second - İletim Hızı
f	Frekans
fc	Frekans
Hz	Hertz
I	akım - Amper
Km	Fotometrik dönüşüm faktörü
lm/W	Lümen/Watt
m	Lambert Emisyon Derecesi
nm	nanometre
P	Güç
V	Gerilim - Volt
W	Güç- Watt
η	Verim – Parlaklık Verimi
λ	Dalga Boyu
v	Işık Hızı
ϕ	Faz Açısı
Φ_e	Enerji akısı
Ψ	FoV açısı

Kısaltmalar

Açıklama

AoA	Angle of Arrival
ASK	Amplitude Shift Keying
BASK	Binary Amplitude Shift Keying
BFSK	Binary Frequency Shift Keying
BPSK	Binary Phase Shift Keying

FEC	Forward Error Correction
FoV	Field of View
FSK	Frequency Shift Keying
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IM-DD	Intensity Modulation and Direct Detection
IPS	Indoor Positioning System
LED	Light Emitting Diode
Li-Fi	Light Fidelity
OFDM	Orthogonal Frequency Division Modulation
OWC	Optical Wireless Communication
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PCM	Pulse Code Modulation
PPM	Pulse Position Modulation
PSK	Phase Shift Keying
PWM	Pulse Width Modulation
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RF	Radyo Frekansı
RLL	Run Length Limited
RSS	Received Signal Strength
SPD	Spectral Power Distribution
TdoA	Time Difference of Arrival
ToA	Time of Arrival
VLC	Visible Light Communication
Wi-Fi	Wireless Fidelity

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Kablosuz haberleşme sistemleri	4
Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum.....	5
Şekil 2.3. Elektromanyetik spektrumda görünür ışık aralığı	7
Şekil 2.4. Görünür ışıkla haberleşmenin gösterimi.....	11
Şekil 2.5. IM-DD sistemi	12
Şekil 2.6. LED çalışma prensibi	13
Şekil 2.7. SPD analizi beyaz LED (Siyah hat), mavi, yeşil ve kırmızı.....	15
Şekil 2.8. Lambert Emisyonu gösterimi	15
Şekil 2.9. Alıcı ve verici gösterimi	16
Şekil 2.10. LED ve Lazer diyot gösterimleri farkları yayılım farkı	17
Şekil 2.11. (a) Foto detektör (b) Foto Transistör	18
Şekil 2.12. (a) Soğurma Katsayısı ($cm - 1$), (b) Spektral Tepkiler (A/W) Grafikleri.....	19
Şekil 2.13. 3B4B ve 5B6B dönüşümlerini.....	22
Şekil 2.14. Manchester kodlama girdi ve çıktı örneği	23
Şekil 2.15. Blok Kodu (n,k) gösterimi.....	24
Şekil 2.16. Evrişim Kod kaydırmalı yapısı.....	25
Şekil 2.17. FSK sinyal üretimi.....	26
Şekil 2.18. BPSK sinyal üretimi	27
Şekil 2.19. ASK sinyal üretimi	28
Şekil 2.20. PPM, PWM, PPM, PFM ve PCM sinyal üretimi	29
Şekil 2.21. BPSK, 4-QAM, 16-QAM (APK(4,8,4)) modülasyonları.....	30
Şekil 2.22. OFDM temelleri ve frekans spektrumu	31
Şekil 2.23. FFT temelli OFDM sistemi blok diyagramı	32
Şekil 2.23. Türsellik (Chromaticity) Diyagramı	33
Şekil 2.25. VLC sistemi ile dijital içerik aktarımı	34
Şekil 2.26. Görünür ışıkla haberleşme ve uygulama alanları	36
Şekil 2.27. Varış Zamanına (TOA) bağlı konum belirleme	38
Şekil 2.28. Varış Zamanı Farkına (TDOA) bağlı konum belirleme	39
Şekil 2.29. (a) Varış Açısına (AOA) bağlı konum belirleme, (b) Varış Açısı belirlemek için dairesel fotodiyot (PD) dizilimi.....	40
Şekil 2.30. VLC lokasyon ve yol bulma	41
Şekil 3.1. VLC sistemi.....	43
Şekil 3.2. 1W LED ve sürücü devresi	44
Şekil 3.3. TEMP6000 ve devresi	45
Şekil 3.5. Sistem blok diyagramı	47
Şekil 3.6. 8 Bitlik bir veri başlama ve durdurma bitleri gösterimi	47
Şekil 3.7. Manchester kodlama akış şeması	48
Şekil 3.8. 8 Bitlik verinin manchester kodlama öncesi ve sonrası	48
Şekil 3.9. Alıcının analog giriş ölçümü	49
Şekil 3.10. Matlab 3 LED için temsili yerleştirme ve parmak izi yöntemi için aralık belirlenmesi.....	50
Şekil 3.11. Bir LED'in alıcı üzerindeki güç dağılım grafiği	51

Şekil 3.12. Arduino görünür ışıkla haberleşme ekran çıktısı.....	52
Şekil 3.13. 'Merhaba Dünya' verisinin ikili sistemde gösterimi.	52
Şekil 3.14. Matlab iki boyutlu üstten bakış yerleşim planı örneği	53
Şekil 3.15. Floyd- Warshall algoritması ve kısa yol bulma nokta düğüm gösterimi	54
Şekil 3.16. Floyd-Warshall Pseudocode	55
Şekil 4.1. Verici devresi proteus inceleme	56
Şekil 4.2. Alıcı devresi fritzing gösterimi (Arduino – TEMP6000).....	57
Şekil 4.3. 3 LED uygulama gösterimi.....	57
Şekil 4.4. Matlab 3 LED Güç Dağılımı Grafiği.....	58
Şekil 4.5. Kapalı alan genel gösterimi ve tek LED kapsama alanı	59
Şekil 4.6. Matlab LED ve çevresi temsili gösterimi	61
Şekil 4.7. Matlab ürün listesi seçim menüsü	62
Şekil 4.8. Matlab güzergah belirleme	63
Şekil 4.9. Mesafe- RSS Grafiği	63

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Radyo frekans spektrumun bölümleri.....	6
Çizelge 2.2. IEEE 802.15.7 standartları ve fiziksel katmanlar	10
Çizelge 2.3. LED renklerine göre dalga boyu ve yarıiletken malzeme çeşitleri	14
Çizelge 2.4. 4B6B giriş ve çıkış tablosu	22
Çizelge 3.1. 1W LED Özellikleri.....	44
Çizelge 3.2. TEMT6000 ışık sensörü özellikleri	45
Çizelge 3.3. Arduino Atmega328p özellikleri	46
Çizelge 4.1. LED ile Alıcı arası yatay düzlemdeki mesafe ve Alıcıdan aktarılan 10 Bitlik Dijital değer	59
Çizelge 4.2. Hazırlanan ürün listesi kodları.....	61
Çizelge 4.3. Ölçülen RSS değerlerinin fonksiyon çıkışında verdiği mesafe değeri.....	63

1. GİRİŞ

İnsanlar eski zamanlardan beri birbirleriyle iletişim kurma ve haberleşme ihtiyacı duymuştur. Temel olarak haberleşme istenilen bilginin bir göndericiden bir alıcıya iletilmesi olarak bilinmektedir. Sosyal hayatın genişlemesi ile beraber haberleşme daha fazla önem kazanmıştır. İnsanlar sürekli haberleşme ağları kurmuş ve farklı sistemler geliştirmiştir. Bu gelişim günümüze kadar ulaşmış ve aynı hızla devam etmektedir. Klasik ve eski haberleşme yolları yeni teknik ve teknolojilerle yerini yenilerine bırakmaktadır. İnsanların ve toplumların artışı, elde edilmek istenilen bilginin fazlalığı, bilgiye hızlı ulaşma isteği gibi günümüzün problemleri haberleşmedeki bu gelişimi çok daha farklı bir boyuta taşımaktadır. Buradan haberleşme ile ilgili temel gereksinimleri çıkarabiliriz; birden fazla alıcı veya vericiye ulaşım, hız, doğru veri aktarımı, güvenli veri aktarımı, veri büyüklüğü, vb..

Teknik ve teknolojik gelişmeyle beraber insanlar verileri teknolojik aletler veya makinalarla aktarmaya başlamıştır. Bu aktarım öncelikle kablolar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Kablolular haberleşme zamanının büyük teknolojik gelişmelerinden sayılmaktadır. Çünkü insanlar artık çok daha uzak mesafelere, çok daha fazla alıcıya bilgi yollabilmekteydi. Ancak bu yöntemde kendi içinde dezavantajları bulunmaktaydı. En büyük sorun iletişimin kablolarla sınırlandırılmasıydı. Alıcı ve vericiler arasında kablo olması onları ne kadar uzak olursa olsun birbirlerine bağlayarak sınırlandırmaktaydı. Bu durum kablosuz haberleşme sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Kablosuz haberleşmede veri aktarmak için kablo ihtiyacı ortadan kaldırılmış bunun yerine elektromanyetik dalgalar kullanılarak veri aktarımı sağlanmıştır. Bu teknoloji günümüze kadar ulaşmış hala kullanılmakta ve hala geliştirilmektedir. Kendi içinde farklı çeşitlere sahip olup kullanım alanı ve şekillerine göre, farklı özelliklerde kablosuz haberleşme sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerin başlıcaları Wi-Fi(Wireless Fidelity / Kablosuz Bağlantı), Bluetooth , GSM (Mobil Haberleşme için Küresel Sistem) ve RF (Radyo Frekans) olarak isimlendirilebilir.

Kablosuz haberleşme sistemleri günümüzde çok fazla alanda ve çok fazla şekilde kullanılmaktadır. Bu kullanım elektromanyetik dalga spektrumunda bulunan farklı

frekanslara sahip bantlarda yoğunluğa sebep olmaktadır. En temel sebep ile bu yoğunluğun gelecekte haberleşmede kısıtlamalara neden olacağı düşünülmektedir. Bunun yanısıra hız, güvenlik, veri büyüklüğü gibi başlıca haberleşme özelliklerini geliştirme isteği ile yeni haberleşme sistemleri ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri de görünür ışıkla haberleşme (VLC) sistemleridir. VLC sistemleri insanların aydınlatma için kullandığı araçları iletişim için kullanabilme yeteneğine sahiptir. Bunun için bir ışık kaynağı verici olarak, bir ışık algılayabilen sensör alıcı olarak kullanılmakta ve veri aktarımı sağlanmaktadır. Bu sayede VLC sistemleri ışığın bulunduğu her yerde kullanılabilir bir haberleşme sistemi olarak görülmektedir. Günümüzde ışığın önemi ve kullanım alanları düşünüldüğünde VLC sistemlerinin kullanım alanının da ne kadar geniş olduğu görülmektedir. Kablosuz haberleşme sistemlerine alternatif olarak üretilen VLC sistemleri yapılan çalışmalarla kullanılabilirliğini de ispat etmektedir.

VLC teknolojisinin gelişmesi ile kapalı alanda konum tespiti (Indoor Positioning System / IPS) için de kullanılabilmesi görülmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Küresel Yer Belirleme Sistemi (GPS) açık alandaki konumlama işlemini belirli bir hata oranı ile gerçekleştirmektedir. Ancak GPS sistemi kapalı alanlardaki konumları belirlemede yetersiz olarak görülmektedir. GPS sistemindeki bu eksiklik IPS sistemleri ile giderilmeye çalışılmıştır. VLC teknolojisinin gelişmesi ile kapalı alanlardaki konum belirleme işlemine yeni bir yöntem kazandırılmıştır. VLC sistemi kapalı alanlarda kullanılan aydınlatma araçlarını bir iletişim aracı olarak kullanarak hem haberleşme sağlayabilmekte hem de konum belirleme işlemini gerçekleştirebilmektedir. Bu sayede kapalı alanlarda konum belirleme ihtiyacı gidirilmiş olmaktadır. Ayrıca bu işlem ekstra bir sistem gerektirmeden kapalı alanların temel ihtiyacı aydınlatma araçları ile sağlanmaktadır.

Kapalı alanda konum belirleme işlemini yapabilmek ve bunu bilgi aktarımıyla beraber sağlayabilmek görünür ışıkla haberleşme sisteminin kapalı alanlardaki etkinliğini arttırmaktadır. Bilgi aktarımının yanısıra alıcının ve vericinin konum bilgisinin belirlenmesi ihtiyaç dahilinde farklı amaçlara hizmet edebilir. VLC sistemleri kapalı alan türlerine göre; konum belirleme, haritalandırma, lokasyon tayini, yönlendirme ve yol bulma, kapalı alandaki bölüm,yol ve nesne bilgisi, vb. alanlarda geliştirilebilir yenilikler meydana getirmektedir. Bu yeniliklerle beraber sistem kullanılabilirliğinin artması ve

başka amaçlar için kullanılan sistemlerinde bu sisteme entegrasyonu sağlanabilmektedir. Haberleşme, konum belirleme gibi alanlarda kullanılan VLC sistemi ihtiyaç duyduğu materyaller (alıcı, verici, işlemci) ile birlikte kullanımı basit, ucuz, hızlı ve uygun bir yöntem olduğu bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında da öncelikle haberleşme sistemleri ve kablosuz haberleşme sistemleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Ardından VLC sistemlerinin çıkışı, gelişimi, kullanım alanları gibi temel bilgilere yer verilmiştir. VLC sistemlerinde bilgi aktarımı için gerekli yazılımsal ve donanımsal yapılar hakkında bilgi verilmiştir. Bilgi aktarımının yanı sıra bir diğer tez konusu olan konum belirleme yöntemleri avantaj ve dezavantajlarıyla aktarılmıştır. VLC ve IPS sistemlerinin birleştirilmesi ile ne gibi çalışmalar yapılabileceği anlatılmış ve bunlardan bir örnek analiz ve testleri ile verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kablosuz Haberleşme

Kablosuz haberleşme sistemleri, vericiden aldığı bilgiyi bir veya birden fazla alıcıya aktarmaya yarayan ve bu iletimi kablosuz sağlayabilen sistemlerdir. Çok sayıda alıcı veya verici kullanabilmesi, uzak mesafelere bilgi aktarabilmesi ve bu işlemi daha az maliyetle yapabilmesi gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlarının yanısıra çevresel etkenlerden dolayı çeşitli hata ve gürültüye maruz kalması, kablolu haberleşmeye göre daha az güvenilir olması, haberleşmede simetrik (A bilgi aktarabilir B'ye, B bilgi aktarabilir A'ya) olmaması ve geçişli (A bilgi aktarabilir B'ye, B bilgi aktarabilir C'ye ; A bilgi aktarabilir C'ye) yapıya sahip olmaması gibi dezavantajlara sahiptir. Teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçların çeşitlenmesi ile avantajlı olduğu yönleri artmakta, dezavantajlı olduğu alanlar gözardı edilebilmektedir (CCSDS 880.0-G-3 Informational Report, 2017).



Şekil 2.1. Kablosuz haberleşme sistemleri

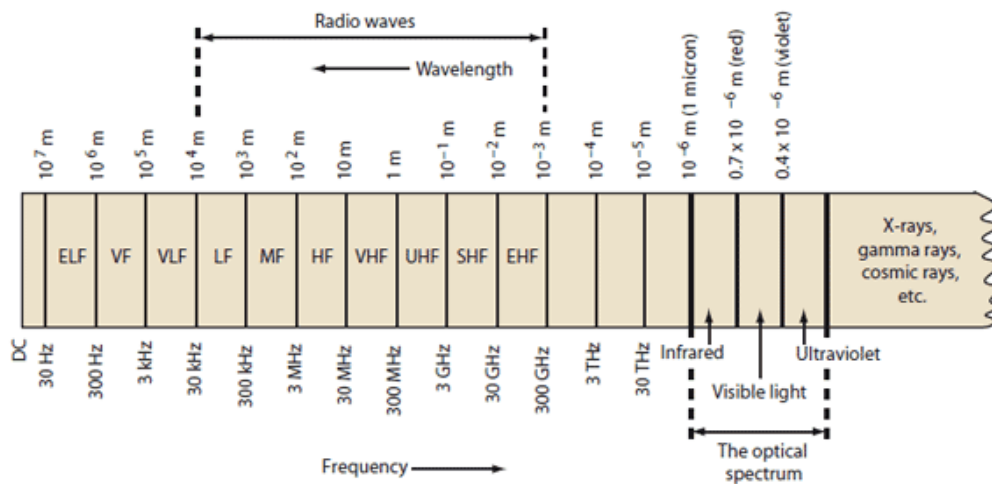
Kablosuz haberleşme teknolojisi günümüzde radyo frekansları ve kızılötesi olarak bilinen elektromanyetik dalgalar ile iletişim kurmaktadır. Bu teknoloji IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers / Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü tarafından belirlenen standartlar üzerinden günümüzde kullanılmaya devam etmektedir. Kablosuz haberleşme iletişim ağı standartları 1997'de IEEE 802.11 ile duyurulmuş ve o günden itibaren kablosuz iletişim araçlarının teknolojiye katılmasıyla standartlar

güncellenmiştir. IEEE 802.15 ile WPAN (Wireless Personal Area Network / Kablosuz Kişisel Ağ) insanların kişisel kullanımına açılmış, kablosuz ağ standartları belirlenmiş ve bluetooth, ZigBee, yüksek hızlı ve düşük hızlı kablosuz haberleşme yöntemleri bu standarta eklenmiştir. 2011 yılında IEEE 802.15.7 ile görünür ışıkla haberleşmesinde içinde bulunduğu kısa mesafe kablosuz optik haberleşme standartları belirlenmiştir (Anonim, 2019)

2.1.1. Elektromanyetik dalgalar

Kablosuz haberleşme sistemlerinin temelini elektromanyetik dalgalar oluşturmaktadır. Elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik alan tarafından oluşturulur ve frekans, genlik, dalga boyu gibi verilerle karakterize edilir. Anten aracılığı ile yayılan elektromanyetik dalgalar alıcı tarafından işlenir ve veri aktarımı sağlanmış olur (Yılmaz, 2016).

Elektromanyetik dalgalar dalga boylarına göre Şekil 2.2.'de verildiği gibi bir elektromanyetik spektrum oluşturmaktadır ve bu spektrum kablosuz haberleşme sistemlerinin kullanılma alanlarını belirlemektedir.



Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum

Farklı frekans ve dalga boylarına sahip bu elektromanyetik dalgalar belirli frekans aralıklarına göre bazı uygulamalara özel olarak tanımlanmıştır. Çizelge 2.1.'de görüldüğü gibi; uçak ve denizaltı araçlarının navigasyonu, televizyon ve radyo yayınları, mobil cihazlar, uydu ve radar sistemleri farklı frekans aralıklarında ve kendi bantlarında çalışırlar (Yılmaz, 2016).

Çizelge 2.1. Radyo frekans spektrumun bölümleri

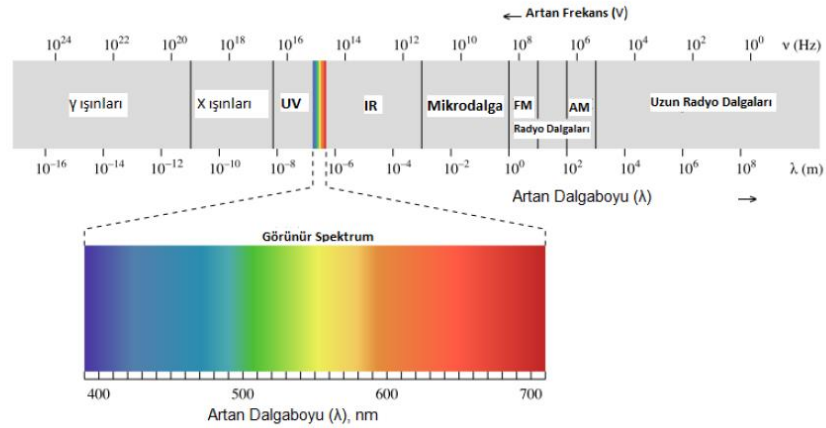
İsim	Frekans Aralığı	Uygulama
Çok Alçak Frekanslar (VLF)	3 – 30 kHz	Denizaltı haberleşmesi, Jeofizik Sondaj Çalışmaları
Alçak Frekanslar (LF)	30 – 300 kHz	Navigasyon, Zaman Standartları
Orta Frekanslar (MF)	300 – 3000 kHz	Uçak/Denizaltı Navigasyon, AM Yayını
Yüksek Frekanslar (HF)	3 – 30 MHz	Mobil Radyo, Amatör Radyo
Çok Yüksek Frekanslar (VHF)	30 – 300 MHz	Karasal Mobil, FM/TV Yayını, Amatör Radyo
Ultra Yüksek Frekanslar (UHF)	300 – 3000 MHz	Cep Telefonları, Mobil Radyo, WLAN, PANs
Süper Yüksek Frekanslar (SHF)	3 – 30 GHz	Uydu, Radar, Ana Taşıyıcı(Backhaul), TV
Aşırı Yüksek Frekanslar (EHF)	30 – 300 GHz	Uydu, Radar, Ana Taşıyıcı(Backhaul),

2.2. Görünür Işıkla Haberleşme

VLC (Visible Light Communication / Görünür Işıkla Haberleşme), elektromanyetik dalga spektrumunun görünür ışık bandını kullanan dolayısıyla ışıkla bilgi aktarabilen haberleşme sistemidir. Günümüzde ışığın hayat kaynağı kabul edilebilecek kadar önemli hale gelmesi ve aynı zamanda veri iletimi yapabilecek olması bu haberleşme sistemini daha önemli ve kullanışlı hale getirmektedir. Mevcut kablolu ve kablosuz iletişimlerle karşılaştırıldığında fiber optik kadar hızlı, sadece ortamda bulunan ışıkla iletişim sağlandığı için güvenli, ortamı aydınlatmakta kullandığımız led ışığı bir de iletişim için kullandığımızdan ekonomik, çevreye ve canlılara zarar vermediği içinde organik bir teknolojidir.

VLC sistemini tanımlayan bir diğer ifade ise Yeşil Haberleşme (Green Communication) yani aydınlatma ve haberleşmeyi minimum enerji tüketimi amaçlayarak gerçekleştiren haberleşme sistemidir (Ertuna, 2016).

Kablosuz haberleşmede günümüzde en yaygın teknoloji RF (radyo frekansları) teknolojisi olarak görülmektedir. Kablosuz mobil haberleşmenin de artması ile RF bantları hızla dolmakta ve gelecekte bu teknolojinin yeterli olmayacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca RF sistemleri karmaşık yapılı, kısıtlı, güvensiz ve nispeten pahalı bir teknolojidir. Bu gerekçelere dayanarak ileride materyal temini kolay, maliyeti az, yüksek frekanslardaki bant aralığında çalışan ve hem aydınlatma hem de veri iletimi yapabilen VLC teknolojisinin kullanımının daha yaygın olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 2.3. Elektromanyetik spektrumda görünür ışık aralığı

VLC sistemleri Şekil 2.3.'de verilen elektromanyetik dalga spektrumunun 375nm ve 780nm dalga boyuna sahip aralığını kullanmaktadır. Dalga boyu artan yönde Mor (375nm – 450nm), Mavi(450nm – 495nm), Yeşil(495nm – 570nm), Sarı(570nm – 590nm), Turuncu(590nm – 620nm), Kırmızı(620nm – 780nm) renklerdeki ışık kaynakları ve belirtilen iletim bant aralıkları ile kullanılabilir (Mamuş, 2015) (Fişne, 2015).

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

' λ ' Dalga boyu, ' v ' ışık hızı (yaklaşık olarak 3×10^8 m/s) ve ' f ' frekans olarak gösterilmiştir. Buradan çıkarımla VLC yaklaşık olarak 430 THz ve 790 THz genişliğinde bir frekans spektrumuna sahiptir (Yılmaz, 2016) (Khan, 2017).

2.2.1. Görünür ışıkla haberleşme ve tarihçesi

VLC bir optik haberleşme sistemidir. Tarihteki ilk VLC örneği 1880 yıllarında Alexander Grahambell ve asistanı Charles Tainter tarafından geliştirilen 'Photophone' cihazıdır. Fotofon bilgiyi güneş ışığı demetine yükleyip iletim yapmak için kullanılmaktadır. Grahambell bu cihaz ile bilgiyi 213 metreye kadar aktarmayı başarmıştır. Bu örnek tarihteki ilk görünür ışıkla haberleşme örneği olarak verilebilir (Khan, 2017). Bu çalışmanın ardından 20. Yüzyıla kadar optik haberleşme ile ilgili bazı çalışmalar (Lazer / 1970 Corning Anonim Şirketi) yapılmıştır. İlk VLC çalışması olarak ise 2003'de Japonya Keio Üniversitesi Nakagawa Laboratuvarında LED'lerle bilgi aktarımı denemiştir (Khan, 2017).

VLC ilgili olarak yapılan çalışma ve araştırmalar neticesinde Japon Elektronik ve Enformasyon Teknolojisi Endüstri Ortaklığı (Japan Electronics and Information Technology Industries Association's / JEITA) 2007 yılında VLC için iki ulusal standart oluşturmuştur (Ertuna, 2016)(Rajagopal ve ark., 2012). Bu standartların ilki JEITA CP-1221; Görünür Işıkla Haberleşme Sistem Standartı adı ile çıkmış ve bu sistemin işleyişi, temel özellikleri, ışık dalga boyu ve frekansları gibi özelliklerin standart kazanmasını sağlamıştır. Bir diğeri ise JEITA CP-1222; Görünür Işık ID Sistem Standartı, bilgi aktarımı ve VLC'nin genel özelliklerine yer vermiştir. Ardından 2013 yılında Görünür Işık Haberleşmesi Konsorsiyumu (Visible Light Communications Consortium / VLCC)

tarafından JEITA CP-1223 Görünür Işık İşaret Sistem Standartı ismi ile bilgi tanımlama, aktarma , pozisyon bilgisi gibi gelişmiş özellikleri standartlara eklenmiştir. 2013 yılından itibaren yeni gelişmelerle bu standartlarda güncelleştirmeler ve yenilemeler yapılmaya devam edilmektedir (Haruyama, 2007).

VLC, IEEE tarafından geliştirilen Kablosuz Ağ Standardı IEEE 802.15.7 standardına tabiidir. Kısa mesafeli kablosuz optik haberleşme adı altında uygulanan bu standart haberleşmede çoklu katman topolojisi destekleyen yüksek hızda iletim sağlayabilen yapıları kapsamaktadır (Rajagopal ve ark., 2012).

IEEE 802.15.7 standartları VLC'nin Çizelge 2.2'de verilen üç farklı Fiziksel Katmanını (PHY I,PHY II, PHY III) sunmaktadır. PHY I 11.67-266.6 kb/s ve PHY II 1.25-96 Mb/s bilgi aktarım hızına ulaşmakta, tek bir ışık kaynağı kullanmakta ve OOK (On/Off Keying) ile VPPM (Variable Pulse Position Modulation) modülasyonlarını desteklemektedir. PHY III 12-96 Mb/s bilgi aktarım hızına sahip birden fazla optik ışık kaynağı dolayısıyla farklı frekanslarda yani farklı renklerde ışık kaynağını desteklemektedir. Farklı renklerde kaynak kullanması sebebiyle CSK (Color Shift Keying) yani renk kaydırmalı anahtarma modülasyonu tercih edilebilir (Rajagopal ve ark., 2012).

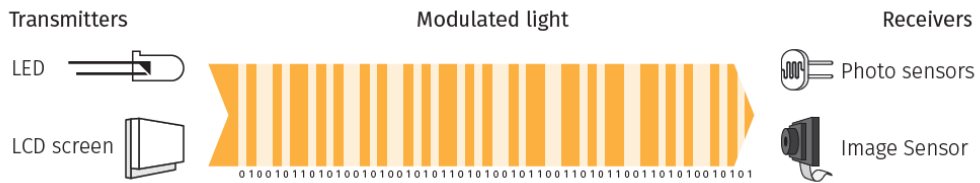
Çizelge 2.2. IEEE 802.15.7 standartları ve fiziksel katmanlar (Ghassemlooy ve ark., 2017)

	Modülasyon	RLL Kod	Optik İşleme Hızı	FEC Outer Kod	FEC Inner Kod	Veri İletme Hızı		
PHY I	OOK	Manchester	200 kHz	(15,7)	1/4	11.67 Kbps		
				(15,11)	1/3	24.44 Kbps		
				(15,11)	1/2	48.89 Kbps		
				(15,11)	-	73.3 Kbps		
				-	-	100 Kbps		
	VPPM	4B6B	400 kHz	(15,2)	-	355.6 Kbps		
				(15,4)	-	71.11 Kbps		
				(15,7)	-	124.4 Kbps		
				-	-	266.6 Kbps		
				-	-	266.6 Kbps		
PHY II	VPPM	4B6B	3.75 MHz	(64,32)	-	1.25 Mbps		
				(160,128)	-	2 Mbps		
			7.5 MHz	(64,32)	-	2.5 Mbps		
				(160,128)	-	4 Mbps		
			15 MHz	(64,32)	-	5 Mbps		
				(160,128)	-	9.6 Mbps		
			OKK	8B10B	15 MHz	(64,32)	-	6 Mbps
						(160,128)	-	9.6 Mbps
	30 MHz	(64,32)			-	12 Mbps		
		(160,128)			-	19.2 Mbps		
	60 MHz	(64,32)			-	24 Mbps		
		(160,128)			-	38.4 Mbps		
	PHY III	4-CSK		12 MHz	(64,32)	-	12 Mbps	
					(64,32)	-	18 Mbps	
8-CSK			24 MHz	(64,32)	-	24 Mbps		
				(64,32)	-	36 Mbps		
16-CSK				(64,32)	-	48 Mbps		
				-	-	72 Mbps		
8-CSK				-	-	72 Mbps		
				-	-	96 Mbps		

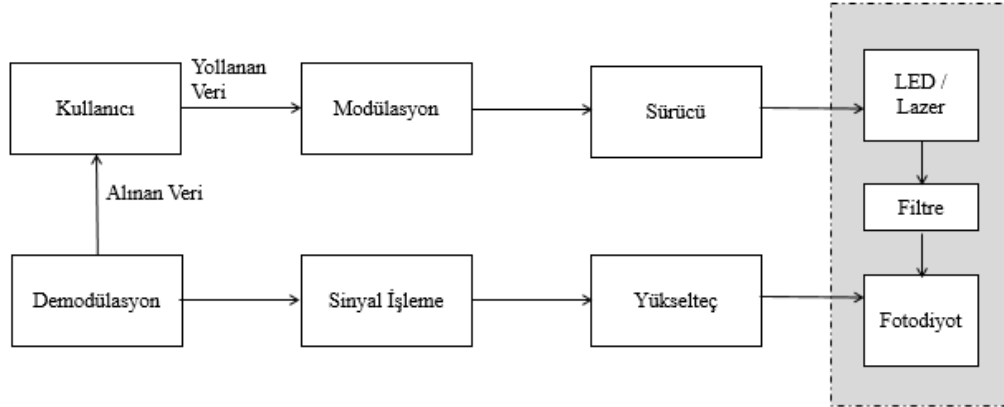
2.2.2. Görünür ışıqla haberleşme bileşenleri

Optik Kablosuz Haberleşme (OWC) sistemlerinin temelini verici yani ışık kaynağı ve alıcı ışık algılayan bileşenler oluşturmaktadır. Optik sistemlerde ışık kaynağı olarak; florasan lambalar, kompakt florasan lambalar, yüksek-yoğunluklu deşarj lambaları, LED (Light Emitting Diode / ışık yayan diyotlar) ve lazer temelli görünür ışık kaynakları kullanılmaktadır. Bu cihazlardan LED ve lazerler hem aydınlatma hem de iletişim için kullanılabilirliği için VLC söz konusu olduğunda en iyi seçenek olarak görülmektedir (Ghassemlooy ve ark., 2017). Işık kaynağının VLC sistemlerindeki en önemli işlemi yüksek hızda açılım-kapanım yaparak kontrollü bir şekilde iletim yapabilmesidir. Yine optik sistemlerde kullanılan alıcılara örnek olarak fotodiyot ve görüntü sensörleri verilebilmektedir. Farklı uygulamalar için bu sistemlerden uygun olanlar tercih edilebilir (Windlin, 2016).

Bu bileşenlerle oluşturulan VLC sistemlerinde amaç verici ile yüksek hızda açma-kapama yaparak Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi "1" ve "0" temelli bir veri oluşturmak ve bu veriyi alıcının algılaması olarak özetlenebilir. Bu işlemin yapılması için veri ile ilgili bir takım kodlama ve modülasyon işlemleri yapılması gerekir. Sistemde filtreleme, kodlama, modülasyon ve çözümleme gibi aşamalar tamamlandığında iletmek istenilen veri görünür ışık ile kablosuz bir şekilde iletilmektedir. Optik sistemlerde kullanılan bu yapıya IM-DD (Intensity Modulation and Direct Detect / Yoğunluk Modülasyonu ve Doğrudan Algılama) yöntemi denir. Şekil 2.5.'de IM-DD yönteminin VLC sistemleri için kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Görünür ışıqla haberleşmenin gösterimi (Windlin, 2016)



Şekil 2.5. IM-DD sistemi (Zafar ve ark., 2017)

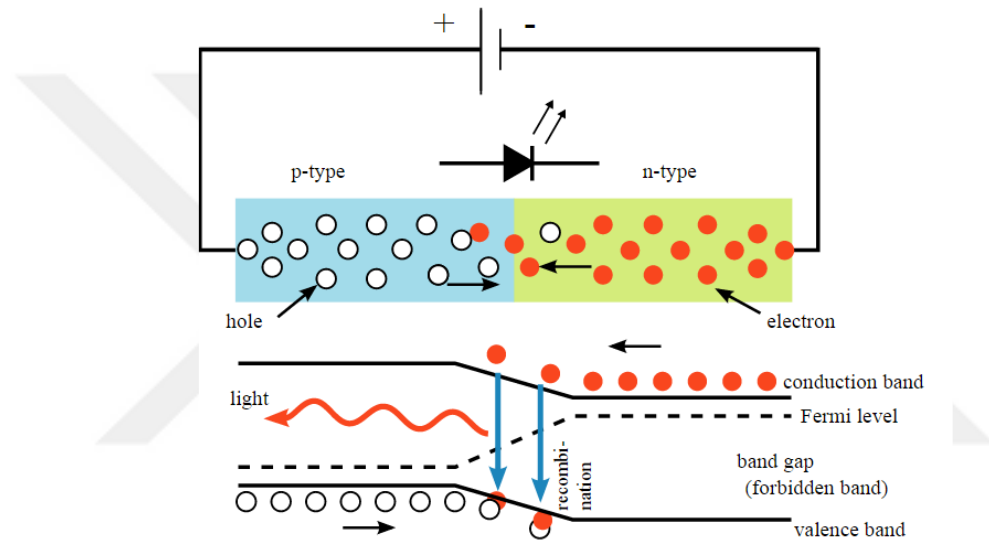
Verici (led / lazer diyot)

Son zamanlarda ışık kaynaklarında meydana gelen gelişim, katı hal ışık kaynaklarının (Solid State Lighting) ampül ve florasan gibi geleneksel ışık kaynaklarının yerini almasını sağlamıştır. Katı hal ışık kaynakları yarı iletken LED'ler kimyasal bazlı ışık yayan diyotlar (Organik LED, OLED ve Polimer LED, PLED) gibi elektrik boşalımları ile ışık üretilen (elektro ışımaya) ışık kaynaklarına verilen genel isimdir. Katı hal ışık kaynaklarının görünür ışık dalga boylarında ışık yayması ve yüksek seviyede anahtarlar yapabiliyor olması VLC sistemlerinde kullanılması için büyük avantaj sağlamaktadır (Zafar ve ark., 2017).

LED, yani ışık yayan diyot olarak adlandırılan bu teknoloji başlangıçta basit bir yapıya sahip olmasına rağmen, düşük enerji tüketimi ile farklı dalga boylarında (görünür ışık, mor ötesi, kızıl ötesi) ve farklı parlaklık seviyesinde ışık verebilen uzun bir ömüre sahiptir. LED'ler çok hızlı bir şekilde açılıp kapanma (20MHz'den fazla) özelliğine sahiptir ve bu özellik ışık kaynağının veri alışverişinde kullanılmasına imkan sağlamaktadır (Ertuna, 2016) (Luo ve ark., 2017).

LED yarıiletken bir elektronik malzemesidir. Güç verildiği takdirde elektronları harekete geçiren ve ışık yayan LED, ilk defa 1907 yılında İngiliz araştırmacı H.J. Round tarafından keşfedilmiştir. İlk örnekleri düşük parlaklığa sahip olup, pahalı cihazlarda (laboratuvar

ekipmanları gibi) kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile yüksek güçte beyaz LED'ler üretilmiş ve aydınlatma alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde yüksek parlaklığa sahip ultraviyole ve kızılötesi dalga boylarının arasında (375nm-780nm) görünür ışık bandında LED'ler üretilmektedir. Kimyasal elementler ve bileşenleri ile görünür ışık bandında bulunan renklere ışık yayan renkler bulunmaktadır. LED'ler; düşük enerji tüketimine sahip, uzun ömürlü, dayanıklı, küçük boyutları ve hızlı açma-kapama gibi özellikleri ile aydınlatma teknolojisinde olduğu gibi VLC sistemlerinde de avantajlar sağlamaktadır (Mamuş, 2015).



Şekil 2.6. LED çalışma prensibi (Mamuş, 2015)

LED yapısal olarak yarıiletken malzemeden üretilmiş bir diyot ve elektronik elemandır. Yarı iletken yapısı sayesinde altın, bakır, alüminyum vb. gibi iletken bir yapıya sahip değildir. Normal koşullar altında yalıtkan özellik göstermekte ve bazı etkileşimlerle iletken bir yapıya dönüşmektedir. LED çalışma prensibi Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi diyot yapısı sebebiyle P kutbunda bulunan boşluklar pozitif yükle, N kutbundaki boşluklar negatif yükle itilmektedir. Birleşen P ve N kutupları akım iletimine başlamaktadır. Bu sırada enerjilenen elektronlar iletim bandından valans bandına doğru hareket etmektedir ve kaybettiği enerjiyi foton olarak dışarıya verir. Bu durum diyotun ışık yaymasını sağlamaktadır. Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi elementler ve bazı bileşikler LED'in yarı iletken kristallerini oluşturmaktadır ve yarı iletken malzemesine göre farklı renklere ışık veren farklı özelliklere sahip LED'ler üretilebilmektedir. Farklı

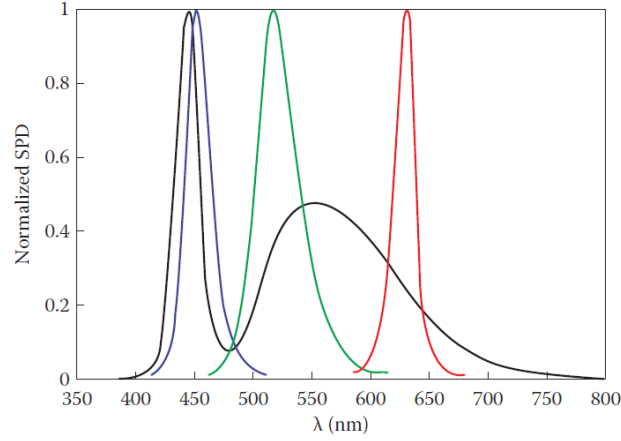
yarı iletkenlerin yeteri kadar bileşimi ile gerekli enerji band aralığı oluşturması, LED için farklı renkler sentezlenmesini sağlar (Ghassemlooy ve ark., 2017).

Çizelge 2.3. LED renklerine göre dalga boyu ve yarıiletken malzeme çeşitleri

Renk	Dalga Boyu (nm)	Yarı İletken Malzemesi
Kızıl Ötesi	$\lambda > 760$	GaAs, AlGaAs
Kırmızı	$610 < \lambda < 760$	AlGaAs, GaAsP, AlGaInP, GaP
Turuncu	$590 < \lambda < 610$	GaAsP, AlGaInP, GaP
Sarı	$570 < \lambda < 590$	GaAsP, AlGaInP, GaP
Yeşil	$500 < \lambda < 570$	InGaN/GaN, GaP, AlGaInP, AlGaP
Mavi	$450 < \lambda < 500$	ZnSe, InGaN
Mor	$400 < \lambda < 450$	InGaN
Mor Ötesi	$\lambda < 400$	Elmas, AlGaN, AlGaInN

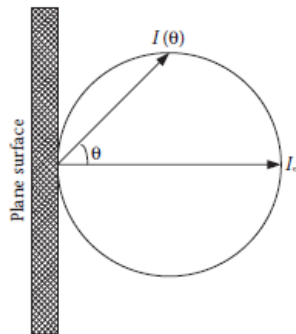
LED'lerin farklı renklerde olabilme özelliğine sahip olması onları bu özellikleri ile sınıflandırabilmemizi sağlamaktadır. Bu sınıflandırma ve malzeme özellikleri Çizelge 2.3.'da verilmektedir (Ghassemlooy ve ark., 2017). Temel olarak beyaz ve RGB (Red-Green-Blue, Kırmızı-Yeşil-Mavi) yani renkli olarak ikiye ayırabiliriz. Bunun yanı sıra beyaz rengi birden fazla yöntemle elde edebilmek mümkün olmaktadır. Birincisi fosfor temelli beyaz LED, yapısında bulundurduğu fosfora göre değişiklikler gösterse de genel olarak fosfor yüksek enerjiye sahip fotonların düşük enerjili ve daha büyük dalga boyundaki fotonlara dönüşmesini sağlar. Bu durum mavi dalga boyunda bulunan yüksek enerjili baskın fotonun fosfor etkisi ile enerji kaybederek sarı dalga boyuna geçmesine sebep olur. Mavi ve sarı foton kombinasyonu beyaz ışık üretilmesini sağlamaktadır (Mamuş, 2015) (Ghassemlooy ve ark., 2017). İkincisi daha düşük dalga boyuna sahip ultraviyole LED olarak adlandırılan farklı yarı iletkenleri yapısında bulundurabilen LED'lerdir. Görünür ışık bandında bulunmayan ultraviyole ışıklarda RGB gibi renklere sahip olabilir. Son olarak RGB renklerinin kombinasyonu ile beyaz renk oluşturulabilmektedir.

LED'ler farklı renklerde, farklı dalga boylarına sahip olması sebebiyle SPD (Spektral Güç Dağıtımı) değişebilmektedir. RGB için dalga boylarına göre sahip oldukları bant aralığında maksimum Spektral güç dağıtımı gözlemlenirken, beyaz ışık dalga boyu skalası geniş olması sebebiyle güç dağıtımı Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi geniş bir alana yayılmıştır (Ghassemlooy ve ark., 2017).



Şekil 2.7. SPD analizi beyaz LED (Siyah hat), mavi, yeşil ve kırmızı

LED yapısı gerekli yüzeyinin her alanından ışık yayımı yapabilmektedir ve bu ışımaya Lambert Emisyonu (Lambertian Emission) denir. Maksimum aydınlatma yoğunluğuna sahip ışımaya yüzeye dik olarak gerçekleşen ışımadır ve yüzey ile arasındaki açımın değişimine göre Lambert Emisyonu'nun bütün ışımaları aydınlatma yoğunluğuna katılır (Ghassemlooy ve ark., 2013).



$$I(\theta) = I_0 \cos^m \theta \quad (2.2)$$

$$m = \frac{\ln 2}{\ln(\cos \Phi_{1/2})} \quad (2.3)$$

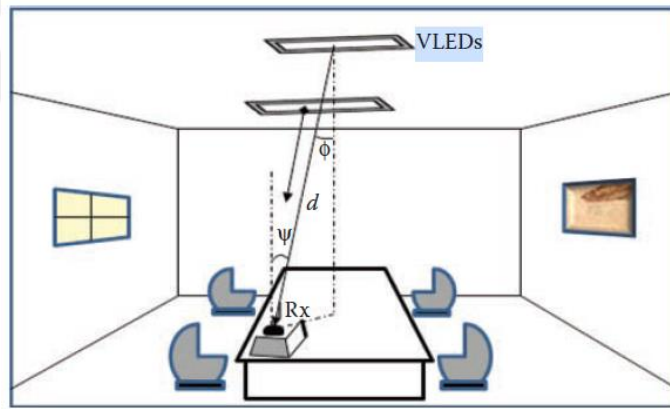
Şekil 2.8. Lambert Emisyonu gösterimi

Şekil 2.8.'de verilen; 'I(θ)' aydınlatma yoğunluğu, 'm' Lambert Emisyonu Derecesi, ' θ ' yüzeye dik ' I_0 ' ile ışın arasındaki açıdır, ' $\Phi_{1/2}$ ' LED'in yarı aydınlığındaki yarıçapıdır.

$$I_y = I_0 \cos^m \theta / d^2 \cos \Psi \quad (2.4)$$

$$P_r = P_t \cdot \frac{m+1}{2\pi d^2} \cos^m \theta \cdot T_s(\Psi) \cdot g(\Psi) \cdot \cos(\Psi) \quad (2.5)$$

' P_r ' algılanan güç, ' P_t ' yayılan güç, ' d ' LED ile alıcı arasındaki mesafe, ' $T_s(\Psi)$ ' iletim filtresi, ' $g(\Psi)$ ' yoğunlaştırıcı kazancı ve ' Ψ ' FOV değerini simgelemektedir. Algılanan ve yayılan güç arasında bağlantı kurulurken bu hesaplamalar kullanılır. VLC sistemlerinde alıcı ve verici gösterimi, ayrıca aralarındaki geometrik bağlantılar Şekil 2.9.'da verilmiştir (Ghassemlooy ve ark., 2013).



Şekil 2.9. Alıcı ve verici gösterimi

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.6)$$

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} V(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda \quad (2.7)$$

$$P_t = K_m \int_{\Lambda_{min}}^{\Lambda_{max}} \int_0^{2\pi} \Phi_e d\theta d\lambda \quad (2.8)$$

' Φ ' parlaklık akısı (lümen / lm) ışığın farklı dalga boylarında değişen ve insan gözünün duyarlılığına bağlı olarak değişebilen toplam akıdır. ' $V(\lambda)$ ' standart aydınlatma eğrisi, ' K_m ' fotometrik elektrik-optik dönüşüm faktörü; deneysel olarak 555nm dalgaboyunda

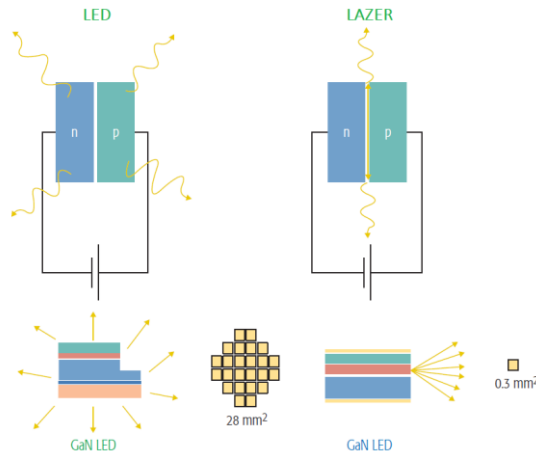
maksimum değere ~683 lm/W (lümen/Watt) ulaşmaktadır. ‘ Φ_e ’ enerji akısı; enerjinin bir yüzeye doğru transfer oranıdır (Ghassemlooy ve ark., 2017).

$$\eta = \frac{\Phi}{V.I} \quad (2.9)$$

‘ η ’ parlaklık verimi, parlaklık akısı ile ‘ $V.I$ ’ elektriksel giriş gücünün oranından bulunmaktadır. V (Gerilim), I (Akım) olarak denklemde bulunmaktadır. Birimi lm/W’dır (Ghassemlooy ve ark., 2013).

Lazer, üzerinden akım geçmesiyle birlikte görünür veya kızıl ötesi spektrumda ışımaya yapan elektriksel olarak pompalanmış bir yarıiletkenlerdir. Lazer teknolojisinde ışık, kaplanmış veya kaplanmamış yüzeylerin ayna görevi görmesi ile birlikte uyarılmış ve çoğunlukla doğrusal hareket eden fotonlar sayesinde yayılır. Lazerin, yayılım yönünün belirli olması ve kontrol edilebilmesinin yanısıra yüksek veri hızına sahip olması diğer kablosuz bağlantılardan (RF teknolojisi ve türevleri) ayrılmasını sağlamaktadır (Zafar ve ark., 2017)

Lazer de bir çeşit yarı iletken teknolojisidir. Yani P ve N kutupları arasındaki elektron hareketi ile ortaya çıkan enerji farkını foton olarak ışığa dönüştürmektedir. Bu kutuplar arasında oluşturulan rezonans kovuğu (kutuplar arası yapılan kesim işlemi) aynalama görevi görerek birbirine benzer faz ve frekansa sahip fotonlar yayılmasını sağlar. Şekil 2.10.’da görüldüğü gibi uyarılmış fotonların uyumlu (koherent), tek renkli, yönlü ve kutuplu özellik kazanması lazeri teknik olarak LED’den ayırmaktadır (Ghassemlooy ve ark., 2013).

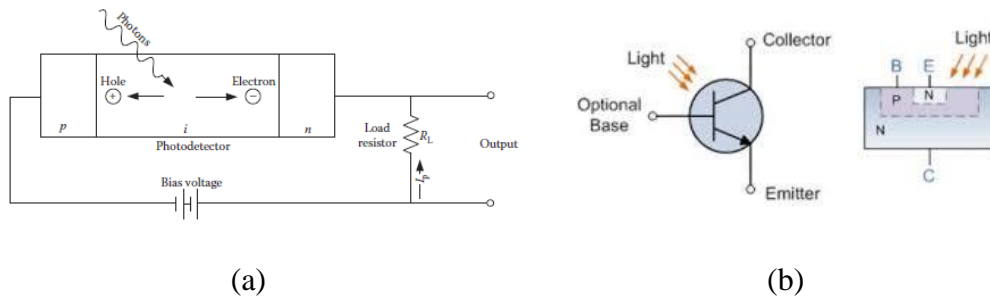


Şekil 2.10. LED ve Lazer diyot gösterimleri farklı yayılım farkı

Yarı iletken lazer diyotlar ile LED’ler özellikleri açısından kıyaslandığında avantajlı ve dezavantajlı durumları olmakla beraber günümüzde özellikle insan sağlığına olumsuz etkisi olabileceği ve maliyetinin daha fazla olması sebebiyle LED teknolojisi lazer yerine tercih edilmektedir (Ghassemlooy ve ark., 2017). Lazer teknolojisinin günümüze kadar olan zaman diliminde gösterdiği gelişim ile bu dezavantajları da gelecekte giderebileceği öngörülmektedir (Zafar ve ark., 2017).

Alıcı / fotodiyot

Foto dedektör ışığı algılayan bir yarı iletkendir. LED’in yapısında bulunan elektron-delik çifti ve yapısı gereği enjilenen elektron iletken band ve valans band arasında hareket eder. Bu hareket sırasında açığa çıkan enerji verilen dalga boyunda bir foton oluşumuna sebep olur. Sonuç olarak elektrik enerjisi optik enerjiye dönüşmüştür ve verilen dalga boyunda bir ışık üretilmiş olur. Bu işlemin tam tersi de mümkün olabilmektedir. Şekil 2.11.’de görüldüğü gibi foto dedektör ve foto transistör yapısı incelendiğinde dış ortamdan gelen fotonlar valans bandında bulunan elektronları enerji yükleyerek iletim bandına doğru harekete geçirir. Fotonun detektöre ulaşıp elektronu yüklemesi için, foton enerjisi ‘ $h\nu$ ’nin bantlar arası enerji farkından daha büyük veya eşit olması ‘ $h\nu \geq E_g$ ’ gerekmektedir. Bu doğrultuda ışık kaynağı ile birlikte optik enerjiden elektrik enerjisine bir dönüşüm sağlanmaktadır (Ghassemlooy ve ark., 2017).



Şekil 2.11. (a) Foto dedektör (b) Foto Transistör (Ghassemlooy ve ark., 2013)

Fotonların yarı iletkene ulaşması ile birlikte optik enerji elektriksel enerjiye dönüşmüş olur ve sistem akım üretmeye başlar. Bu akım için;

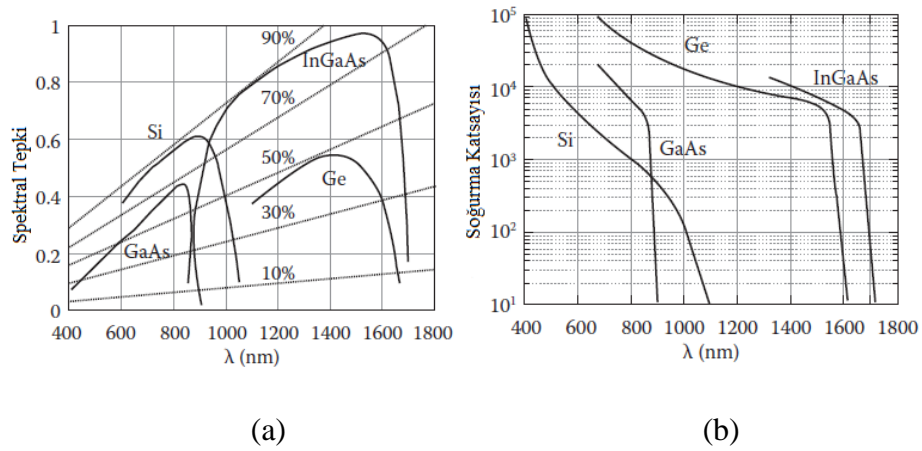
$$I_{ph} = P_0 \frac{q\lambda}{hc} (1 - r)(1 - e^{-a(\lambda)d}) \quad (2.10)$$

' P_0 ' optik güç (uyarılmış fotonların sisteme verdiği güç), ' r ' yarı iletkenin yansıtma sabiti, ' $a(\lambda)$ ' soğurma sabiti, ' d ' kaynak uzaklığıdır. Foto dedektör foton soğurma özellikleri genel olarak dalga boyu ve yarı iletken malzemesine göre değişmektedir. Aynı şekilde kuantum verimi, yarı iletken malzeme türüne bağlı dalga boyuna göre değişiklik göstermektedir. Kuantum verimi LED'lere benzer biçimde tam ters mantıkla, foto üretilen taşıyıcıların sayısının sisteme giren foton sayısına oranı ile bulunmaktadır (Ghassemlooy ve ark., 2017).

$$\mathcal{R}(\lambda) = \frac{I_{ph}}{P_0} \quad (2.11)$$

$$\eta = \frac{I_{ph}/q}{P_0/h\nu} = (1 - r)(1 - e^{-a(\lambda)d}) \quad (2.12)$$

' $a(\lambda)$ ' soğurma katsayısı foto dedektörün hassas olduğu dalga boyu aralığını belirlemek için kullanılır. Bunun yanında foto dedektör için kullanılan bir diğer önemli parametre ise ' $\mathcal{R}(\lambda)$ ' tayfsal duyarlılık (Spectral Responsivity), fotonlarla üretilen akım ile optik güç oranına göre belirlenir (Ghassemlooy ve ark., 2017).



Şekil 2.12. (a) Soğurma Katsayısı (cm^{-1}), (b) Spektral Tepkiler (A/W) Grafikleri

Yarı iletken malzemeleri farklı foto dedektörler için kuantum verimi teorik olarak %90 olarak belirlenmiş ve spektral tepkileri analiz edilmiştir. Şekil 2.12.'de görüldüğü üzere, görünür ışık dalga boyunda yayılan ışığı en iyi algılayabilen yarı iletkenler Si ve GaAs'dır (Ghassemlooy ve ark., 2017).

Foto diyotlar üzerine düşen fotonlara göre elektrik üretebilmektedir. Ancak ışık kaynağından çıkan her foton alıcı tarafından algılanamayacaktır. Bu durumun sebebi FoV (Field of View / Görüş Alanı) değeridir. FoV Şekil 2.9.'da gösterildiği üzere fotodiyotlar için bir açı değeridir ve bu değerden büyük açıyla alıcıya ulaşan fotonlar algılanamamaktadır. FoV açısının büyümesi foto diyot üzerine düşen optik gücün artmasını sağlamaktadır (Mamuş, 2015). Foto diyotun optik sinyali daha fazla alabilmesi için FoV açısının yanısıra foto diyotun etkin alanının arttırılması gerekmektedir. Bu işlem gelen optik sinyalin yanında fazlasıyla gürültü getireceği için tercih edilmemektedir. Bunun yerine foto diyotun önüne yerleştirilecek ince kenarlı mercekler sayesinde bu etkin alanın arttırılması sağlanabilir (Fişne, 2015).

2.2.3. Görünür ışıkla haberleşme veri kodlama teknikleri

VLC sistemlerinde kullanılan ışık kaynaklarında temel prensip ışık kaynağının aç/kapa veya '1' ve '0' işleminin belirli bir düzende gerçekleşmesi ile meydana gelmektedir. Titreşme veya kırpışma olarak adlandırılan bu sistem insan gözünün algılayabileceği seviyede olduğu zaman insan sağlığına zarar verebilmektedir. Bu neden IEEE 802.15.7 standartlarına göre bu kırpışmanın 200 Hz'den (<5ms) daha hızlı olması gerektiği belirtilmiştir. VLC sistemleri de bu temele dayandırılarak gerçekleştirilmektedir (Khan, 2017).

Işık kaynağının veri aktarma hızı 200 Hz'den hızlı olsa bile gönderilen bilginin uzun aralıklarla '1' veya '0' olabilme ihtimali vardır. Bu durum kırpışma etkisine sebep olmaktadır (Khan, 2017).

RLL kodlama

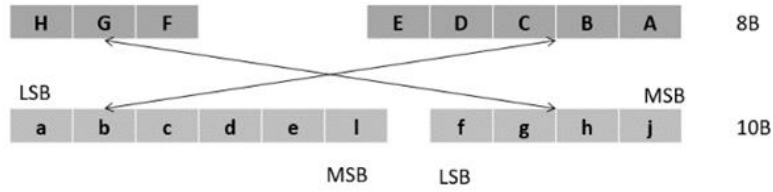
RLL (Run Length Limited) uzun süreli '1' ve '0' verilerinin gelmesi ile oluşan kırpışma etkisinden ve CDR (Clock and Data Recovery / Zamanlama ve Veri İyileştirme) algılama problemlerinden kurtulmak için kullanılmaktadır. Seri haberleşmelerde, vericiden gönderilen bilgiler bir tetikleme palsına (clock) sahip değildir. Bu nedenle alıcı verilerin kaymaması ve doğru alınması için bir tetikleme palsına ihtiyaç duymaktadır. Bu duruma Clock Recovery (Zamanlama İyileştirme) adı verilir. Örnek veriler iyileştirilen tetikleme palsı ile aktarılmaya devam eder bu durum Data Recovery (Veri Kurtarma) olarak adlandırılır. RLL kodlama ile vericiden gelen bilgiler ile alıcıya ulaşan bilgilerin '1' ve '0' lar ile DC dengelenmesi sağlanır (Ghassemlooy ve ark., 2017).

4B6B RLL kodlama 4 bitlik bir giriş bilgisini 6 bitlik bir çıkış bilgisine dönüştürmektedir. Bu dönüşüm eşleştirme kurallarına göre Çizelge 2.4.'de verilmektedir. 4B6B RLL kodlama çıkış verisinin %50'lik bir işleme zamanına sahip olmasını yani en uzun '1' veya '0' serisinin 3 bit olmasını sağlamaktadır. Bununla beraber DC dengeleme ve hata ayıklama gibi RLL kodlama özelliklerini de taşımaktadır (Wang ve Kim, 2014).

8B10B RLL kodlama benzer şekilde 8 bitlik veriyi, 10 bitlik bir veriye dönüştürür. Bu dönüşümü yaparken veriyi iki kısımda inceleyip, Şekil 2.12.'de görüldüğü gibi 3B4B ve 5B6B dönüşümlerini yapmaktadır (Ghassemlooy ve ark., 2017).

Çizelge 2.4. 4B6B giriş ve çıkış tablosu

HEX	4B Giriş	6B Çıkış
0	0000	001110
1	0001	001101
2	0010	010011
3	0011	010110
4	0100	010101
5	0101	100011
6	0110	100110
7	0111	100101
8	1000	011001
9	1001	011010
A	1010	011100
B	1011	110001
C	1100	110010
D	1101	101001
E	1110	101010
F	1111	101100

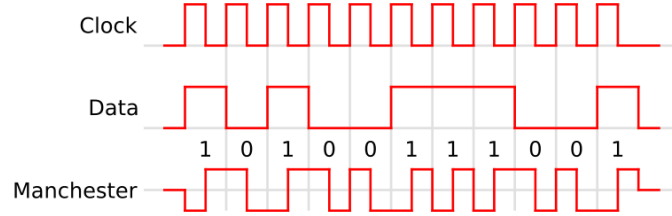


Şekil 2.13. 3B4B ve 5B6B dönüşümlerini

Manchester kodlama

Manchester Kodlama günümüzde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu kodlama yöntemi ile alıcıya aktarılacak veriye zamanlama ve tetikleme pulsı eklenir. Bir başka yararı ise diğer RLL yöntemlerinde olduğu gibi verinin %50'lik bir DC dengede kalmasını

sağlamaktadır. Manchester kodlama Şekil 2.14.'de görüldüğü gibi verinin taşıdığı '1' ve '0' bitlerini sırasıyla '01' ve '10' bitlerine dönüştürür (Windlin, 2016).



Şekil 2.14. Manchester kodlama girdi ve çıktı örneği

2.2.4. Kanal kodlama yöntemleri

Haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden olan kanal kodlama yöntemleri aktarılmak istenilen bilginin doğru bir şekilde iletilmesi için kullanılmaktadır. Bu yöntem hata kontrol kodlaması olarakta adlandırılmaktadır. Basit bir şekilde özetlemek gerekirse gönderilmek istenilen veriye herhangi bilgi taşımayan, hatalı bilgi olup olmadığını kontrol etmek amaçlı kontrol bitleri eklenmektedir (Ertürk, 2019).

Hata kontrol kodlaması hata algılama ve hata düzeltme kodlaması olarak iki farklı yöntemle temellendirilir. Hata algılama kodlaması çift yönlü haberleşme sistemlerinde kullanılmakta ve vericiden bilginin hatalı olduğu alıcı tarafından tekrar vericiye bildirilmektedir. VLC sistemlerinde alıcının vericiye bilgi aktarması mümkün olmadığından tek yönlü haberleşme sistemleri arasında gösterilmekte ve hata düzeltme kodlaması kullanılmaktadır. Bu yöntem ile aktarılmak istenilen veriye eklenen yeni bitler ile hata olup olmadığı kontrol edilir ve hatalı bitler düzeltilebilmektedir. Karmaşık sistemlerde kullanılan bu yöntem FEC (Forward Error Correction / İleri Hata Düzeltme) olarak adlandırılmaktadır (Ertürk, 2019).

Hata düzeltme yöntemleri blok kodlama ve blok kodlama alt sınıfları olan doğrusal ve çevrimsel blok kodlama gibi farklı yöntemler ile sağlanabilmektedir. Blok kodlama temel olarak bilgi bitlerine farklı yöntemlerle eklenen kontrol bitlerinin vericiden gelen ve alıcıya ulaşan veriler içinde doğruluk tespiti ve düzeltme yapması için kullanıldığı

yöntem olarak adlandırılabilir. Şekil 2.15.'de görüldüğü gibi, bu kodlamada bilgi biti 'k', kod biti 'n' sembolleri ile ifade edilmektedir ve '(n,k) Blok Kodu' olarak adlandırılmaktadır. Veri içindeki hataları düzeltmek için kullanılan bu yöntemlerde 't' hata düzeltme yeteneği olarak adlandırılır ve düzeltilebilecek en yüksek hatalı bit sayısını vermektedir (Rao, 2015).

k																								
1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
n												Artık bitler												

Şekil 2.15. Blok Kodu (n,k) gösterimi

Rs-reed solomon kodlama

RS kodlamada bilgi (n,k) blok kod formatı ile aktarılmaktadır. Hata düzeltme yeteneği $t=(n-k)/2$ ve en küçük hamming mesafesi $d_{(min)}=(n-k+1)$ olarak bulunmaktadır (Ertürk, 2019). RS kodlamada hata düzeltme için üretilen polinomial denklem Galois Field olarak adlandırılır ve GF veya $g(x)$ olarak gösterilmektedir. PHY I'de RS kodları ile kullanılmış GF(2⁴) denklem 2.13'de gösterilen polinomial denklemi ile üretilmiştir. PHY II' de ise GF(2⁸) kullanılmış ve denklem 2.14 ile üretilmiştir (Ghassemlooy ve ark., 2017).

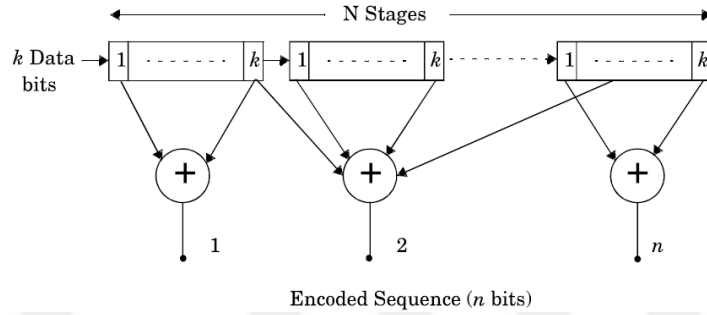
$$x^4 + x + 1 \quad (2.13)$$

$$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad (2.14)$$

Evrişim- convolution kodlama

Evrişim kodlama bilginin doğrusal olarak kaydırılması ve farklı bloklarda kodlanması ile oluşturulmaktadır. Kaydırmalı olarak haritalandırılan bilgiler farklı bloklarda kaydedilmiş olsa bile düzenli bir şekilde çözümlenir ve hataları düzeltilebilmektedir. Blok kodlamada olduğu gibi kod ve bilgi bitleri olarak (n,k) parametrelerini

kullanılmaktadır. Bundan farklı olarak Şekil 2.16.'da görüldüğü gibi k bitlik bilgiyi kaydırma parametresi olarak 'N, kısıt uzunluğu' kullanılmaktadır. Kısıt uzunluğu parametresi evrişim kodlarına karmaşık ve uzun verilerde avantaj sağlamaktadır (Rappaport, 2002).



Şekil 2.16. Evrişim Kod kaydırmalı yapısı

Evrişim ve Reed Solomon gibi kanal kodları yüksek veri hızlı kapalı mekan ve düşük veri hızlı dış mekan veri aktarımını desteklemek için kullanılmaktadır. Veri aktarımında uzun mesafe veya herhangi bir gürültüden oluşacak hatayı düzeltmek üzere geliştirilmişlerdir. Kapalı alanda uygulamalarında yüksek veri hızına sahip bilgi daha sık ve kısa mesafede kullanılmaktadır. Bu nedenle FEC için Reed Solomon daha uygun bir kodlama türüdür (Ghassemlooy ve ark., 2017).

2.2.5. Görünür ışıqla haberleşme modülasyon teknikleri

Haberleşme sistemlerinde verinin vericiden alıcıya ulaşmasını sağlamak için özellikleri daha önceden belirlenmiş taşıyıcı sinyallere dönüştürülmektedir. Bu şekilde iletilmesi gereken veri üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Bu sistem genel olarak haberleşmede modülasyon olarak tanımlanabilir (Ertürk, 2019).

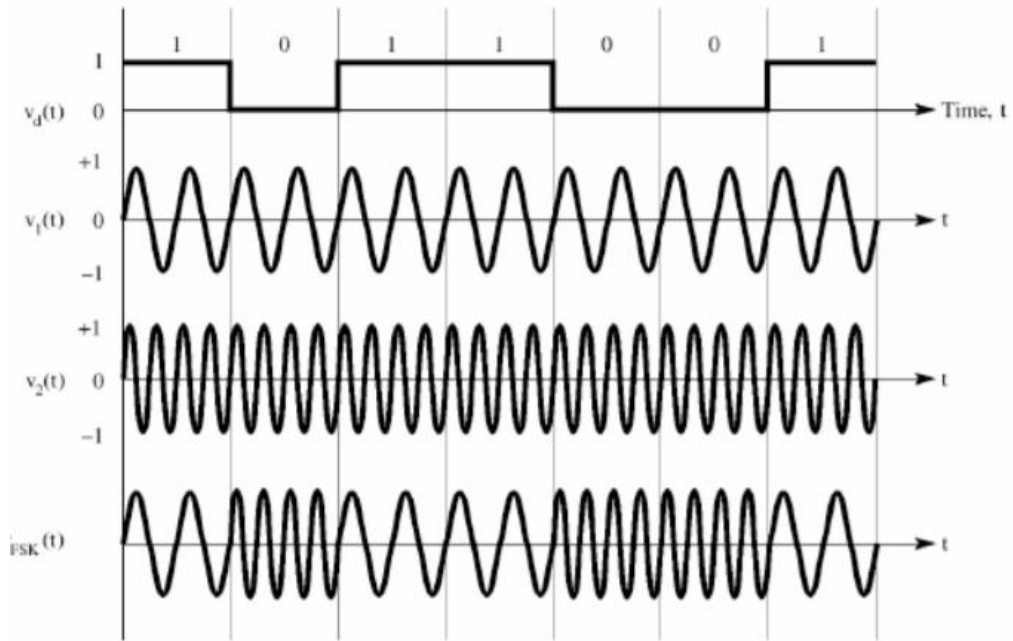
Haberleşme sistemleri için birçok modülasyon çeşidi kullanılmaktadır ve birbirinden farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. VLC sistemleri için de IM-DD kablosuz optik haberleşme sistemleri için geliştirilmiş modülasyonlar bulunmaktadır. Genel olarak verinin vericiden alıcıya düzgün bir şekilde iletimi amaçlanmaktadır (Islim ve Harald, 2016).

On / off anahtarlama (OOK)

Veri iletimi için kullanılan modülasyon tekniği ile sinyaliniz frekans sınırları belirli taşıyıcı bir sinyale dönüştürülmektedir. Bu durum sayısal geçişbandı modülasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu modülasyonda taşıyıcı sinyal kosinüs veya sinüs tabanlı sinyaller belirlenmektedir (Ertürk, 2019).

$$s(t) = A \cdot m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t + \varphi) \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.15)$$

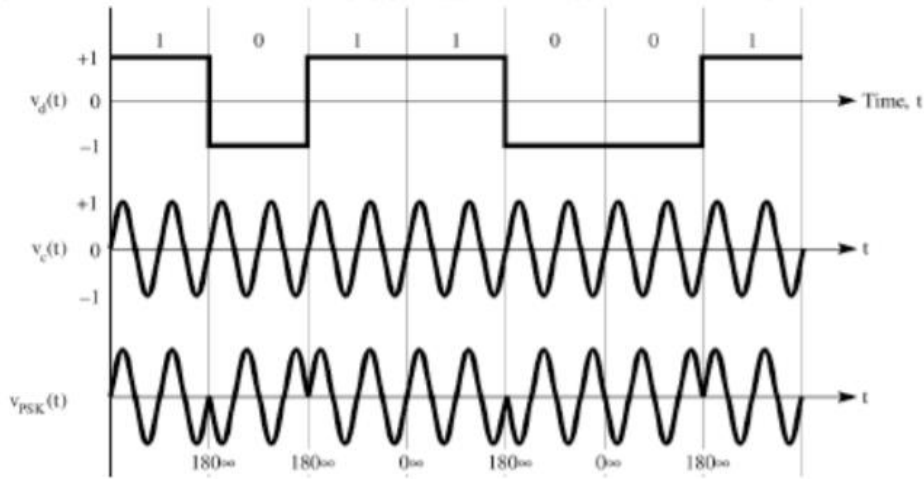
$m(t)$ bilgi sinyali, A taşıyıcı sinyalin genliği, f_c frekansı, φ fazını belirtmektedir (Öztürk, 2016). Aktarılmak istenen verinin özellikleri göz önünde bulundurularak taşıyıcı sinyalin genlik, frekans ve faz değerleri değiştirilebilmektedir. Bu değişimlerin yapıldığı modülasyonlar sırasıyla Genlik (ASK), Frekans (FSK) ve Faz (PSK) Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyonları olarak adlandırılmaktadır (Ertürk, 2019). Şekil 2.17.'de FSK sinyalinin '1' ve '0' için oluşturulan farklı frekanslı sinyallerin birleştirilerek meydana geldiği görülmektedir (Kavas, 2006).



Şekil 2.17. FSK sinyal üretimi

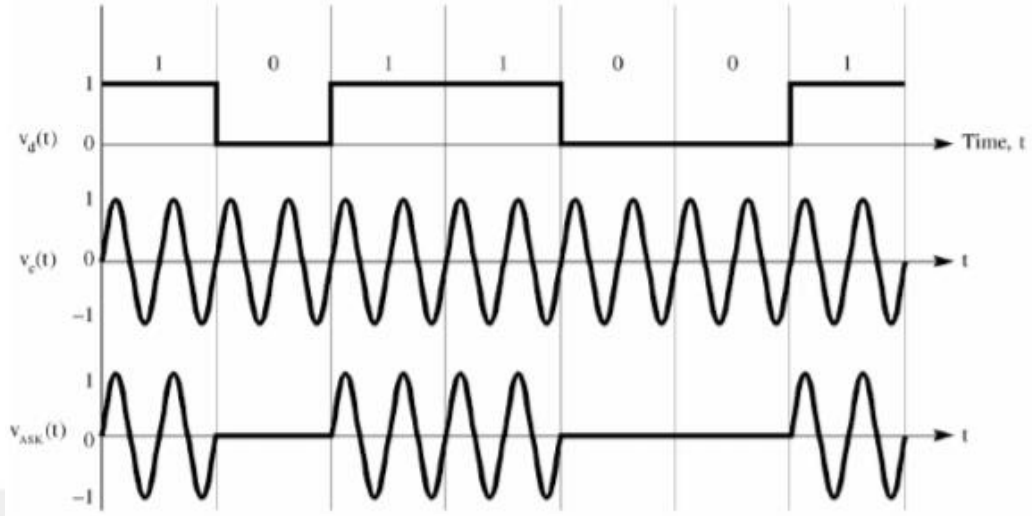
On/Off Anahtarlama IEEE 802.15.7 standartlarında da belirtildiği üzere optik haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılan modülasyon tekniklerindedir. Genel olarak iki farklı güç seviyesinin sayısal '1' ve '0' olarak tanımlanmasıyla sadece 'bir' ve 'sıfır' temelli veriler üzerinde yapılan modülasyon işlemleridir. VLC sistemleri de LED'in aç/kapa işlemini gerçekleştirmesi ile aktif hale geldiği için On/Off Anahtarlama Modülasyonuna uygun bir sistem olarak görülmektedir (Khan, 2017).

On/Off anahtarlama modülasyonu gibi ikili sayısal sistemler temsil ettiği taşıyıcı sinyal özellik değişimlerine göre İkili Genlik (BASK), İkili Frekans (BFSK) ve İkili Faz (BPSK) Anahtarlama Modülasyonları olarak adlandırılmaktadır (Ertürk, 2019). Şekil 2.18.'de BPSK sinyalinin üretimi için faz farkı bulunan iki sinyalin kullanıldığı görülmektedir (Kavas, 2006).



Şekil 2.18. BPSK sinyal üretimi

On/Off Anahtarlama Şekil 2.19.'da görüldüğü gibi, bir çeşit Genlik Kaydırmalı Anahtarlama veya İkili Genlik Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyonu olarak görülmektedir.



Şekil 2.19. ASK sinyal üretimi (Kavas, 2006)

Pulse modülasyonu

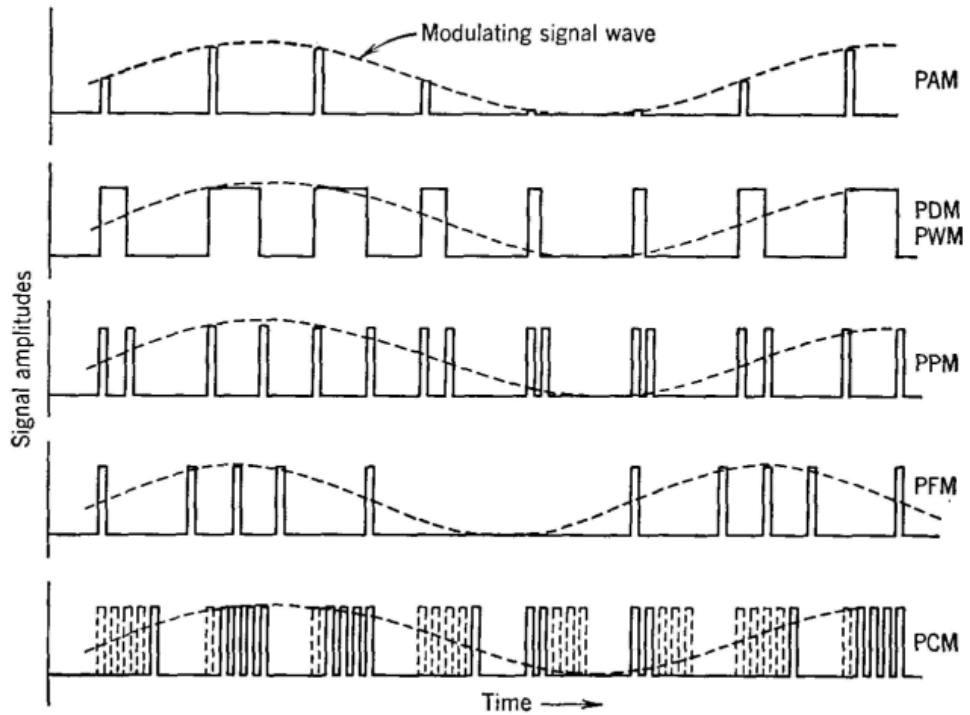
Pulse modülasyon geçişbandı modülasyon tekniklerinden biridir. Giriş sinyalinin birbirinden farklı darbelerle (pulse) aktarılması olarak özetlenebilir. Geçişbandı modülasyon tekniklerinden biri olan On/Off Anahtarlama özellik olarak sinyalin yoğunluğuna göre dönüşüm yaptığı bir önceki kısımda açıklanmıştır. Bu durum PAM (Pulse Amplitude Modulation / Darbe Genlik Modülasyonu) ile benzer mantık içinde çalışmaktadır (Blaunstein ve ark., 2010).

Pulse modülasyon tekniklerinden bir diğeri ise PPM (Pulse Position Modulation / Darbe Pozisyon Modülasyonu) olarak adlandırılmaktadır. PPM, PAM ve OOK'den farklı olarak sinyalin genliğe göre değil zamana göre değişimini ele alarak modüle etmektedir. Basitçe açıklama gerekirse 'M' bitlik bir bilgi aktarımı için geçecek olan 't' saniye süresi M eşit bölmeye ayrılır. Bilgi bitinin değerine göre en düşük değer ilk bölmeye, en yüksek değer son bölmeye yerleştirilmektedir (Blaunstein ve ark., 2010).

PWM (Pulse Width Modulation / Darbe Genişlik Modülasyonu), vericinin kırpışma seviyesine göre darbe genişliğinin dengelenmesi ile oluşturulmaktadır. Bu modülasyonda yoğunluğun en yüksek olduğu yerlerde genişlik açısından yoğun darbeler

oluşturulmaktadır. Darbe Genişlik Modülasyonunun en önemli özelliklerinden biri yoğunluk seviyelerinde bir değişiklik olmaksızın kırpışma sağlayabilmesidir. Bu sayede LED için kırpışma kontrolü de sağlanabilmektedir (Dahril ve Jawaid, 2018).

Analog sinyalin digital sinyale dönüşüm mantığı ile çalışmakta olan bir diğer modülasyon çeşidi ise PCM (Pulse Code Modulation / Darbe Kod Modülasyonu)'dur. Bu modülasyon analog sinyalin kesitlere ayrılıp, bu kesitler üzerinden örnekler alınması ve bu örneklerin yoğunluk seviyesine göre digital bitlere çevrilmesi ile özetlenebilir (Öztürk, 2016). Şekil 2.20.'de PPM, PWM, PPM, PFM ve PCM modülasyonları ile üretilen sinyaller örnek olarak verilmiştir (Perez, 2017).

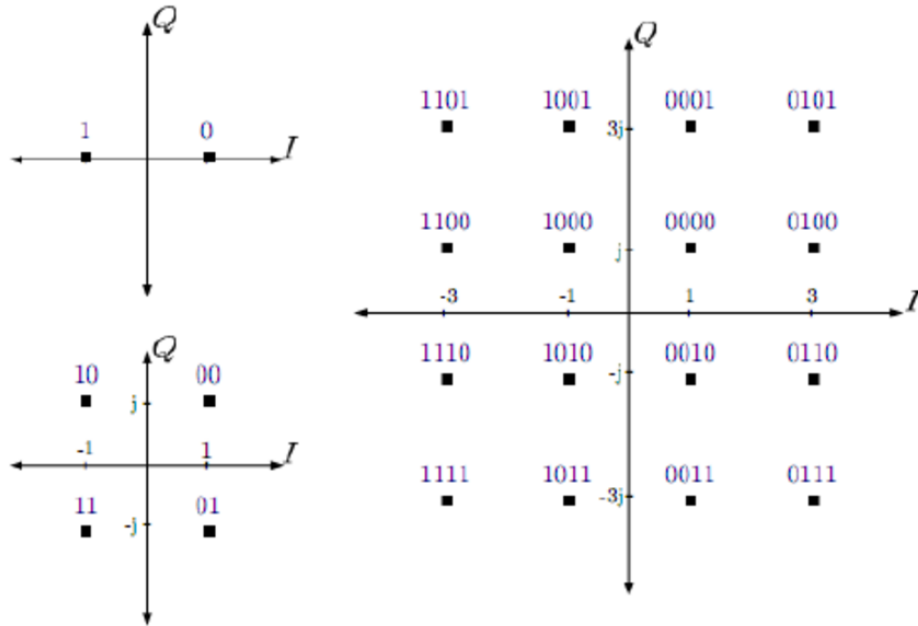


Şekil 2.20. PPM, PWM, PPM, PFM ve PCM sinyal üretimi

'M' seviyeli geçişbandı modülasyonu

Bir sinyalin frekans, faz ve genlik özelliklerine göre anahtarlamansı ile oluşturulan modülasyonların yanısıra, bu özellikleri aynı anahtarlama kullanarak çok seviyeli geçişbandı modülasyonları kullanılabilir. Farklı değerler kullanılarak oluşturulan bu anahtarlama M-ary (M seviyeli) modülasyonlar (M-PSK, M-FSK, M-ASK) olarak adlandırılır. Bu durumda taşıyıcı sinyali birbirinde farklı faz seviyelerinde birbirinden farklı genlik seviyelerine sahip bir şekilde modüle edilebilmektedir. APK (Amplitude Phase Keying / Genlik Faz Anahtarlama) olarak adlandırılan modülasyon tekniği diğer çok seviyeli modülasyonlar gibi fazör diyagramı veya yıldız kümesi diyagramı olarak bilinen diyagramlarda gösterilmektedir (Ertürk, 2019).

Yıldız kümesi diyagramında göre farklı genlikteki sinyallerin farklı fazlardaki dağılımı gösterilmekte ve bu dağılıma göre isimlendirilmektedir (Örneğin; APK(8,8) , İki genlik seviyesinde de sekiz farklı faz seviyesine yerleştirilmiş onaltı taşıyıcı sinyal). Bu taşıyıcıların Şekil 2.21.'de görüldüğü gibi karesel olarak diyagrama yerleştirilmesi de QAM (Quadrature Amplitude Modulation / Karesel Genlik Modülasyonu) olarak adlandırılır ve en iyi performansa sahip genlik-faz anahtarlama modülasyonu olarak gösterilmektedir (Ertürk, 2019).

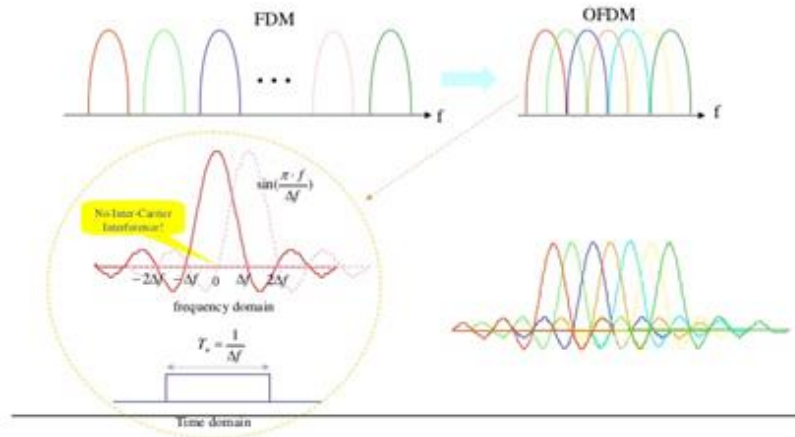


Şekil 2.21. BPSK, 4-QAM, 16-QAM (APK(4,8,4)) modülasyonları

QAM farklı genlik ve faz değerlerine sahip farklı bitlere göre 4, 16, 64, 128 ...-QAM gibi isimlendirilip kullanılabilir (Öztürk, 2016).

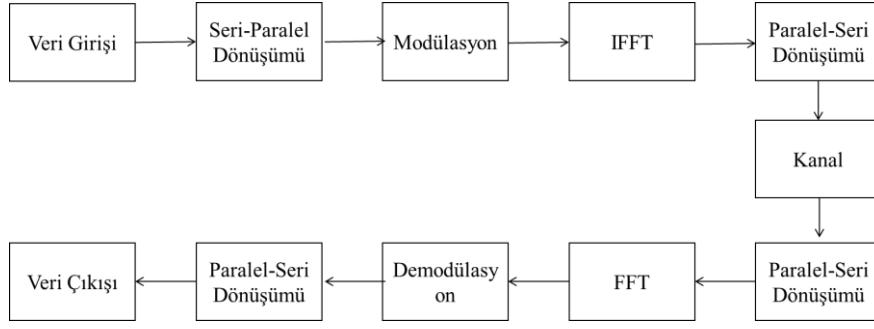
Ofdm

Haberleşme sistemlerinde birden fazla taşıyıcı sinyal kullanılması mümkündür. Bu durum üzerine geliştirilen sistemlerden biri FDM (Frequency Division Multiplexing / Frekans Bölüşümlü Çoğullama) olarak örnek gösterilebilir. Radyo frekanslarında da kullanılan bu modülasyon çeşidinde verinin iletilmesi gereken frekans bandı sınırlıdır. Bu frekans bandında taşıyıcı sayısı kadar parçalara ayrılmakta ve her bir taşıyıcı kendi frekans bandında iletim yapmaktadır. Frekans bandı sadece parçalara ayrıldığı için iletim kapasitesinde bir kazanç sağlanamamaktadır (Ertürk, 2019).



Şekil 2.22. OFDM temelleri ve frekans spektrumu

FDM ile benzer özelliklere sahip olmakla beraber iletim kapasitesinde kazanç sağlayabilen modülasyon tekniği OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama Modülasyonu)'dur. OFDM Şekil 2.22.'de görüldüğü gibi birbiri ile çakışan frekansları taşıyıcı sinyal olarak kullanabilmektedir. Taşıyıcıların dikgen yapıya sahip olması çakışmalarını engellemektedir. Bu sayede yüksek veri hızına sahip ve gürültülerden az etkilenen bir modülasyon tekniği olmasının yanında band genişliğinde de bir kazanç sağlamaktadır (Ertürk, 2019).

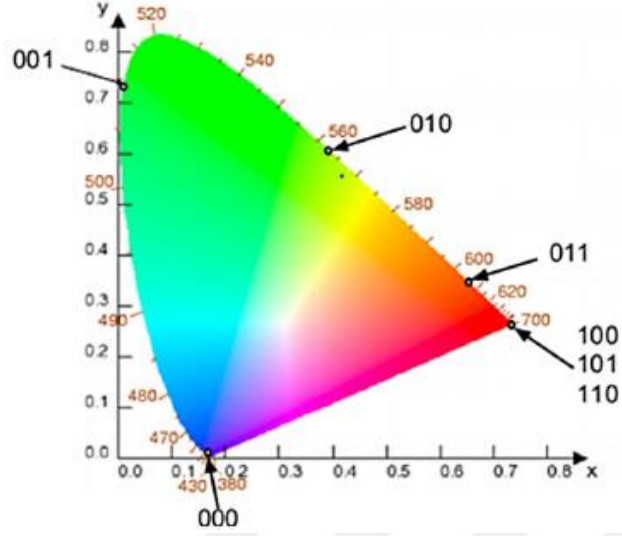


Şekil 2.23. FFT temelli OFDM sistemi blok diyagramı

Şekil 2.23.'de görüldüğü gibi çoklu taşıyıcı sistemlerinde daha hızlı ve daha verimli olan FFT (Fast Fourier Transform / Hızlı Fourier Transform) ve IFFT (Inverse Fast Fourier Transform / Ters Hızlı Fourier Transform) kullanılmaktadır. Sinyal ayrık zaman uzayından, frekans uzayına ve tam tersi işlemleri bu transform teknikleri ile gerçekleştirebilmektedir (Chouhan ve Deepak, 2013). Aynı zamanda bir çoğullama yöntemi olan OFDM'nin taşıyıcıları; MPSK ve QAM gibi modülasyon çeşitleri ile modüle edilebilmekte ve sistem içerisinde beraber kullanılabilirler (Ertürk, 2019).

Csk renk kaydırma anahtarlama

CSK (Color Shift Keying / Renk Kaydırma Anahtarlama) diğer modülasyon çeşitlerindeki düşük iletim hızını geliştirmek için IEEE 802.15.7 standartlarında paylaşılmıştır. Beyaz ışık kaynağı LED'ler için bir yöntem ise RGB olarak tanımlanan kırmızı, yeşil ve mavi ana renklerinin yoğunluk seviyelerine göre gerçekleşmesidir. CSK yöntemi, Şekil 2.23.'de verilen Türsellik (Chromaticity) diyagramı sayesinde renk yoğunluğuna göre kodlama yapılabilmesi olarak açıklanabilir (Khan, 2017).



Şekil 2.23. Türsellik (Chromaticity) Diyagramı

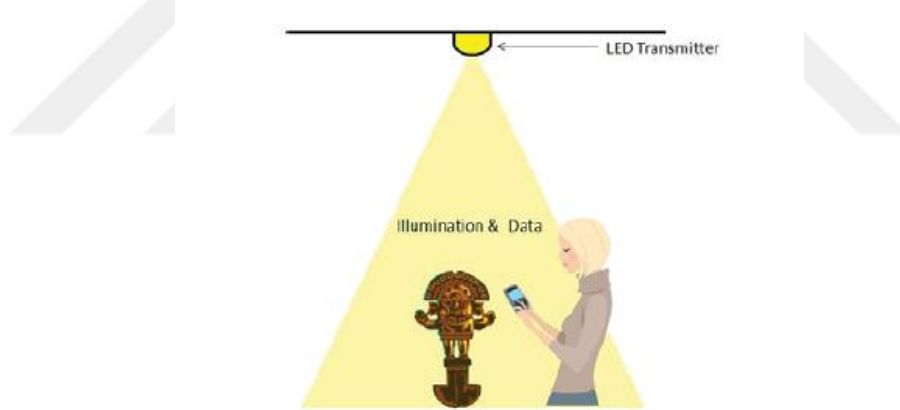
2.2.6. VLC ve kullanım alanları

VLC diğer haberleşme sistemlerinin yerine kullanılmak için geliştirilmiş yeni bir teknolojidir. Bu teknolojinin kullanım alanları olarak hemen hemen bütün haberleşme sistemlerinin yerini alabilmesi düşünülmektedir. Bunlardan başlıcaları ışığın kullanıldığı alanlardır. Çünkü ışık bu sistemde hem aydınlatma hem de haberleşme için kullanılabilir. Örneğin ev ve ofis gibi kapalı alanlarda kullanılan aydınlatma sistemleri aynı zamanda haberleşme sistemi olarak kullanılabilir. Risk alanı olarak belirlenen insanın bulunmadığı ve iletişim kesilmelerinin olduğu ortamlarda VLC kullanılabilir (Mamuş, 2015). Açık alanda da sokak aydınlatma sisteminden, trafik araçlarına ve araç farlarına kadar kullanılabilen sistemler olması VLC'nin geleceğin en yaygın haberleşme sistemlerinden biri olacağını akıllara getirmektedir.

VLC sistemleri diğer RF teknolojilerinin yapabildiklerini yapabilecek bir yapıya sahip olması ve hız olarak daha verimli çalışabilecek olması kullanım alanları genişletmektedir. Evlerde, ofislerde, her türlü kapalı alanda internet erişimi için kullanılabilir. Aynı zamanda akıllı ev, akıllı yaşam alanları mimarisinde kapalı alanlardaki akıllı sistemlerin kontrolü ve M2M (Machine to Machine / Nesnelere Arası) haberleşmeye imkan sağlayabilir (Ergül ve ark., 2015).

Kapalı alanlarda kullanılabilen görünür ışıklı haberleşme sisteminin ürün satışı yapılan marketler, mağazalar, depolar, vb. alanlarda kullanımı birden fazla kolaylık sağlayabilmektedir. Müşteriye almak istediği ürün ile ilgili bilgi verebilir, ürünün konumuna müşteriye yönlendirebilir, müşterinin alışveriş listesi için en kısa yolu bulabilir veya mağaza ile ilgili indirim, stok, etiket gibi verileri müşteri ile paylaşabilir. Ürün satışının olduğu alanlarda ürünün müşteriye sunulması için kullanılması şart olan aydınlatma sistemi VLC ile birden fazla iş için kullanılabilir (PHILIPS, 2016).

Bir diğer kullanım alanı olarak müzeler, sergiler, sanat galerileri, sinema ve tiyatro gibi belli başlı eserlerin sergilendiği yerler kullanılabilir. Eserin sergilendiği esnada aydınlatma için kullanılan aydınlatma sistemi VLC ile eser ile ilgili bilgileri alıcıya (telefon aracılığıyla) iletebilir. Bu sayede Şekil 2.25.'de görüldüğü gibi hem ürünlerle ilgili bilgi sahibi olmak hem de ilgili olunan alanlardaki eserleri ziyaret açısından VLC ile alınan bilgi ve istatistikler kullanılabilir (Ayub ve ark., 2013)(Gökrem ve ark., 2019).



Şekil 2.25. VLC sistemi ile dijital içerik aktarımı

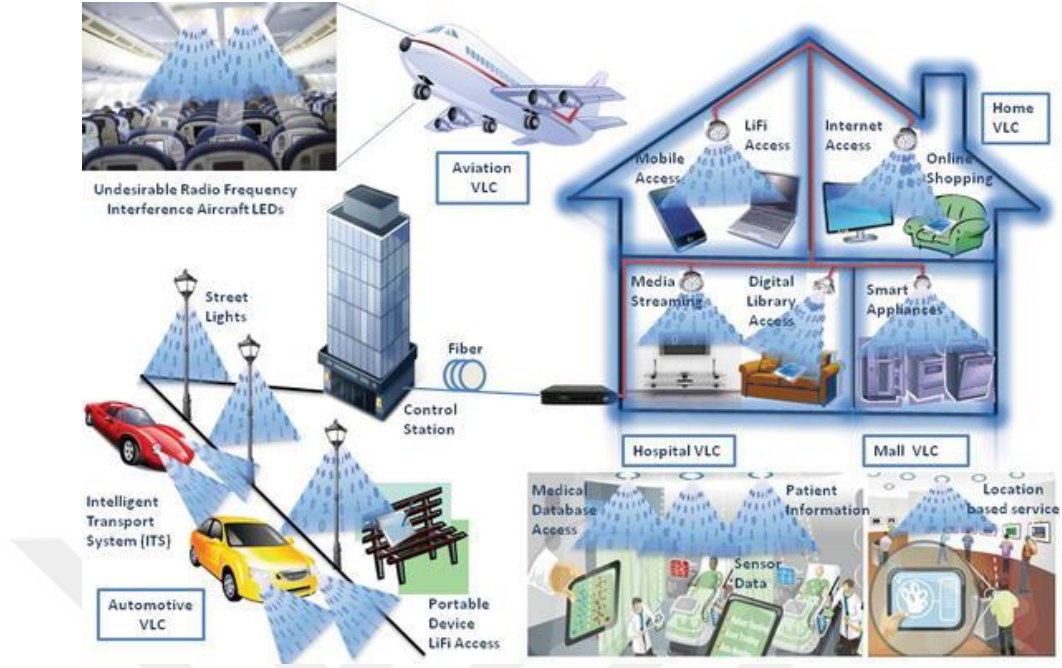
Görünür ışıkla haberleşme özel kapalı alanlarda da tercih edilen bir haberleşme sistemi olabilir. Bilginin dışarı sızması istenilen, gizli ve güvenilir veri aktarımı yapabilmek adına askeri uygulamalarda ve devlet uygulamalarında kullanılabilir. Aynı şekilde hastane gibi ortamlarda hastanın bilgilerinin gizli kalması ve sağlık cihazlarının kontrol edilebilmesi içinde VLC sistemleri kullanılabilir. Bu şekilde sağlık cihazlarının RF sinyallerinden etkilenmesi de önlenir (Ergül ve ark., 2015).

VLC sistemlerinin kullanılabilceği ve maksimum fayda elde edebileceği bir alan da maden işletmeleri olarak söylenebilir (Iturralde ve ark., 2017). Maden ocaklarında yerin metrelerce altında haberleşme olanakları kısıtlı bir konumdadır. Ancak maden işleyişi için bu tünellerin aydınlatması kesinlikle yapılmaktadır. Bu aydınlatma sistemini haberleşme için kullanmak, iletişim sıkıntısı giderebilir. Ayrıca konum belirleme işlemi gerçekleştirilmesi durumunda baretlerde kullanılabilcek bir alıcı ile her işcinin her an konumu belirlenebilir ve bir kaza durumunda insan hayatı için ihtiyaç duyulacak veriler sistemden incelenebilir.

VLC sistemleri için bir kullanım alanı da; hava, uzay deniz araçları olarak gösterilebilir. Hem güvenilebilirlik açısından hem de elektromanyetik alanlardan etkilenmeyecek olması VLC sistemlerini bu alanlar için avantajlı konuma getirmektedir. Su altı haberleşmede de kullanılabilir olan VLC sistemlerinde doğrusal ışık yayması sebebiyle lazer teknolojisi daha uygun görülmekte ve gelişimi teknoloji ile birlikte devam etmektedir (Medhakar ve ark., 2016).

Kapalı alanlar dışında açık alanlarda da VLC sistemleri kullanılabilir özellik taşımaktadır. Özellikle sokak adınlatmaları, trafik ışıkları, taşıtlardaki n ve arka ışıklar, sokak üzerindeki mağaza ofis ve benzeri yapıların ışık tabelaları VLC için birer verici olarak kullanılabilir. Bu sayede yol üzerindeki alanlardan bilgi alınabilir, trafik problemleri M2M sistemler sayesinde azalabilir ve konum belirleme teknolojisi sayesinde yönlendirme, lokasyon tanımlama gibi işler gerçekleştirilebilir (Uçar, 2017) (Ergül ve ark., 2015).

şekil 2.26.'da da grldği gibi VLC sistemleri kapalı ve açık birçok alanda kullanılabilir (Deng, 2017).



Şekil 2.26. Görünür ışıkla haberleşme ve uygulama alanları

2.3. Konum Belirleme

Bir nesnenin, insanın veya herhangi bir varlığın konum bilgisi günümüz teknolojileri ile sağlanabilmekte ve birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alanlar insani ve kritik yerlerde kullanılması ile mecburi, hayatı kolaylaştırmak adına kullanılan yerlerde ise yardımcı rol oynamaktadır. RF her şekilde ihtiyaç üzere geliştirilmiş bir teknoloji olarak insanlığın hizmetine sunulmuştur.

2.3.1. Açık alan konum belirleme

Konum belirleme radyo frekansları teknolojileri ile sağlandığı için kısa ve uzun mesafelerde işlem yapabilme kapasitesine sahiptir. RF teknolojisi ile birlikte GSM veya GPS bazlı dış ortam konum belirleme işlemi özellikle acil durumlar, taşıma, ulaşım gibi gerekli alanlarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu teknolojiler dış ortam için geliştirilmiş olup hassasiyet olarak açık alan ve dış ortamda yeterli ancak kapalı alanlarda ihtiyacı karşılayamamaktadır (Yılmaz, 2010).

2.3.2. Kapalı alan konum belirleme

Açık alanda kullanılan geniş çaplı konum belirleme yöntemlerinin kapalı alanlarda gerekli verimi sağlayamaması üzerine kapalı alanlarda kullanılmak üzere yine RF temeline dayalı yeni sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler genel olarak kapalı alanlarda, haberleşme için kullanılan sistemlerin yeni özelliklerle ve konum belirleme yöntemlerinin uygulanması ile gerçekleştirilmektedir.

En yaygın ve verimli olarak görülen yöntem Wi-Fi teknoloji ile birbirine bağlanmış elektronik cihazların konumunun belirlenmesi olarak söylenebilir. Bununla beraber bluetooth, RFID, Ultra Geniş Bant (UWB) tabanlı ve femtocell (mini baz istasyonları) gibi iletişim araçları kapalı alanlarda konum belirleme için kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına ve yapılarına göre avantaj ve dezavantajlara sahip bu yapılar çeşitli konum belirleme yöntemleri ile şekillenebilmektedir (Doughangi, 2017).

Kapalı alanda konum belirlemek için kullanılan bu haberleşme sistemlerine yine kısa mesafelerde haberleşme amaçlı geliştirilen VLC sistemleri kullanılabilir. Bu sayede VLC sistemleri aydınlanma, haberleşme ve konum belirleme için kullanılabilen bir sistem özelliği kazanmaktadır.

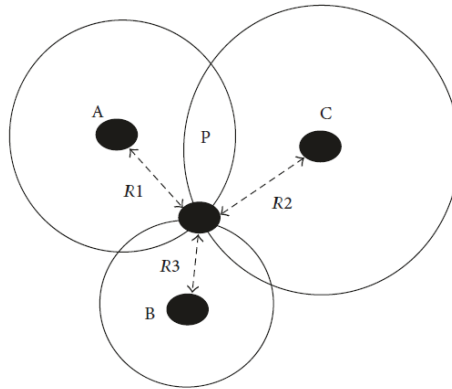
2.3.3. Konum belirleme yöntemleri

Konum belirle için kullanılan çeşitli yöntemler üçgenleştirme olarak adlandırılan temel geometrik özelliklere dayalı sistemlerdir. Bu yöntemler için bir ve birden fazla alıcı veya vericiye göre oluşturulan geometrik yapılar, konum belirlemek için çeşitli hesaplamalar ile beraber kullanılır. RF ile kullanılan yöntemlerde amaç mesafe ölçmek, açı ölçmek ve sinyal gücü ölçmek olarak özetlenebilir. Bu amaca dayalı olarak bazı ölçme sistemleri; ToA (Time of Arrival / Varış Zamanı), TDoA (Time Difference of Arrival / Varış Zamanı Farkı), AoA (Angle of Arrival / Varış Açısı) ve RSS (Received Signal Strength / Alınan Sinyal Gücü) olarak adlandırılır (Doughangi, 2017).

Toa (Varış Zamanı)

ToA bir sinyalin varış zamanının saptanması ve bu sinyalin hız-zaman analizinin yapılması ile alıcı ve verici arasındaki mesafenin bulunması için kullanılan bir konum belirleme yöntemidir. Genel olarak bir vericinin yolladığı sinyalin bir alıcıya ulaşma süresi ve sinyalin hızı ile gerekli hesaplamalar yapıldığı zaman alıcı ile verici arasındaki mesafe bulunabilmektedir. Bu mesafe iki boyutlu düşünüldüğünde vericinin etrafında bir çember oluşturmakta ve alıcının bu çemberin üzerinde herhangi bir noktada olduğunun belirlenmesini sağlamaktadır. ToA yönteminin kullanılabilmesi için alıcı ve vericinin senkronize çalışması gerekmektedir. Çünkü sinyalin vericiden çıkış süresi ile alıcıya giriş süresinin analizinin yapılması şarttır (Luo ve ark., 2017). Kablosuz haberleşme ile konum belirleme yöntemlerinde kullanılan ToA, VLC sistemleri içinde uygun bir metod olarak kullanılabilir. Burada sinyalimiz ışık kaynaklı olduğu için sinyal hızı ışık hızına (299.792.458 m/s) eşittir. Yöntemin verimli çalışabilmesi için en az üç verici kullanılması gerekmektedir. Vericilere göre alıcının konumu herbiri için farklı bir çember oluşturmaktadır. Şekil 2.27.'de görüldüğü gibi iki verici ile çemberlerin kesişim yerleri olan iki noktanın bulunduğu kordinant belirlenmekte ve üçüncü veya daha fazla verici bilgisiyle bu kararsızlık giderilmektedir (Brena ve ark., 2017).

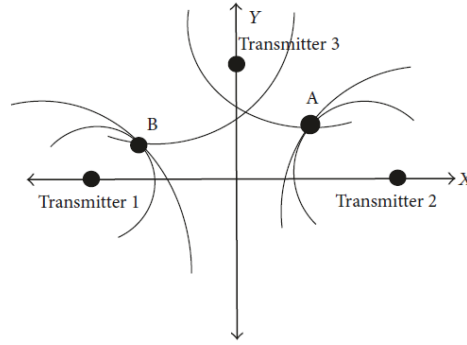
$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = s_i, i = 1,2,3 \dots n \quad (2.16)$$



Şekil 2.27. Varış Zamanına (TOA) bağlı konum belirleme

Tdoa (Varış Zamanı Farkı)

ToA yönteminden türetilmiş bir yöntem olarak açıklanabilir. TDoA birden fazla verici veya alıcı (en az üç) ile gerçekleştirilebilen bir yöntemdir (Do ve Yoo, 2016). ToA'nın aksine verici ve alıcı arasında bir senkronizasyon olması gerekmez. Sadece alıcılar arasındaki senkronizasyon bu yöntem için yeterlidir. Basitçe anlatmak gerekirse farklı konumlara yerleştirilmiş alıcılar sabit bir vericiden aldığı sinyalleri belirli bir zaman farkıyla alırlar. Bir alıcının sinyali aldığındaki süreden diğer bir alıcının sinyali almasına kadar olan süre TDoA yönteminde kullanılan varış zamanı farkını vermektedir (Luo ve ark., 2017).



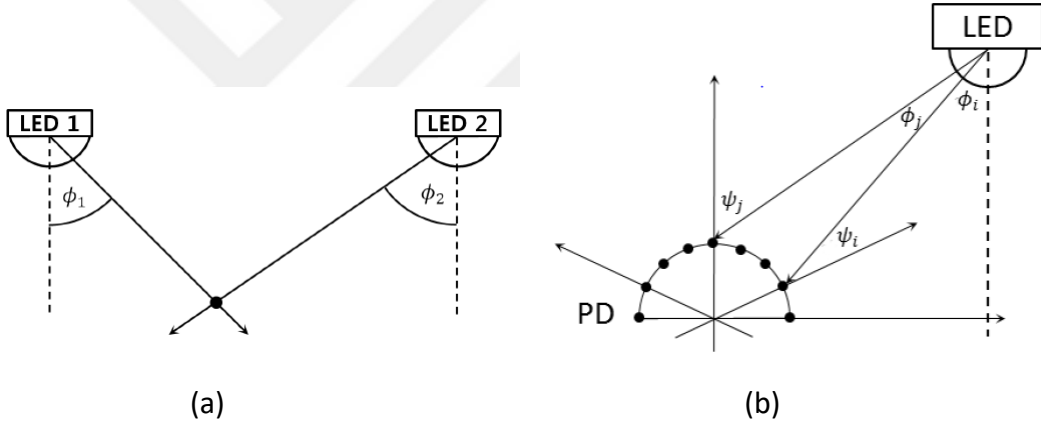
Şekil 2.28. Varış Zamanı Farkına (TDOA) bağlı konum belirleme (Brena ve ark., 2017)

Şekil 2.28.'de görüldüğü gibi, TDoA yönteminde bir istasyonun diğer iki istasyona olan mesafe farkları geometrik ve karakteristik özelliklerine göre iki farklı hiperbol tanımlamaya yardımcı olmaktadır. Bu hiperbolların kesişim noktası hedefi vermektedir (Do ve Yoo, 2016).

$$s_{1i} = (\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}), i = 2, 3 \dots n \quad (2.17)$$

Aoa (Varış Açısı)

AoA, yani varış açısı yöntemi isminden de anlaşılacağı üzere sinyallerin alıcıya ulaştığı açıyı belirleyerek konum belirleme yöntemidir ve Şekil 2.29.'da gösterilmiştir. Bu yöntemin uygulanması için en az iki verici kullanılması gerekmektedir. Vericilerden çıkan sinyaller alıcıya geliş açılarına göre daha önceden konumları belirlenmiş olan vericiler üzerinden bazı geometrik hesaplarla konum belirlenmesi yapılabilir. Zamansal olarak senkronizasyona gerek duyulmadığı için ToA ve TDoA yöntemlerine kıyasla daha avantajlı sayılabilir. Doğru ve hassas bir konum belirleme için ölçülen açılardan hassasiyeti önem kazanmaktadır. Bu açılarda diğer diğer yöntemlerde de olduğu gibi ışık için yansıma ve gölge gibi unsurlar hassasiyeti azaltmaktadır (Do ve Yoo, 2016).



Şekil 2.29. (a) Varış Açısına (AOA) bağlı konum belirleme, (b) Varış Açısı belirlemek için dairesel fotodiyot (PD) dizilimi

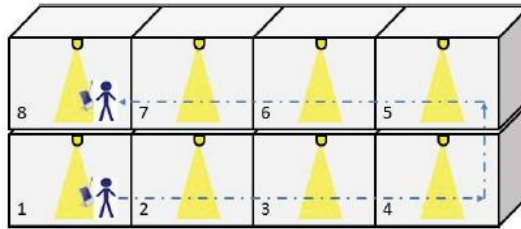
Rss (alınan sinyal gücü)

RSS alınan sinyal gücünün kıyaslanması ile konum belirleme olarak açıklanabilir. Kapalı alanda konum belirlemek için kablosuz haberleşme sistemlerinde çok kullanılan yöntemlerden biridir (Zhuang ve ark., 2018). Tek alıcı ve tek vericiyle de belirli bir konumu göstermektedir. Verici sayısı arttırıldıkça konum bilgisi daha net bir şekilde belirlenebilir. RSS yöntemi sinyalin karakteristik özelliklerini belirlemek üzere tasarlanmış olup, birbirinden farklı yöntem ve algoritmalarla kullanılabilir (Zhuang ve ark., 2018). En basit açıklaması ise farklı konumlardaki alıcıya sabit konumlu bir verici farklı

sinyaller iletebilmektedir. Alıcı ve verici arasındaki mesafe değiştiğçe iletilen sinyalinde karakteristik özelliklerinde benzer değişiklikler meydana gelir. Bu değişiklikleri yorumlayabilmek konum bilgisine ulaşılmasını sağlamaktadır.

2.4. VLC ile Lokasyon Bilgisi Verme

VLC sistemi ile beraber aydınlatma işlevi, kablosuz haberleşme / bilgi aktarımı ve alıcının/vericinin konumlarını belirleme gibi kapalı alanda ihtiyaç duyulan sistemlerin tek bir sistemle birleşmesi sağlanmaktadır. Bunun yanısıra konumu belirlenmiş alıcı ve vericilerin yönlendirilmesi, belirli bir güzargah üzerinde hareket etmesi sağlanabilmektedir. Bu durum kapalı bir alanda bir harita üzerinde gerekli bilgileri (duvar, merdiven, pencere, asansör,vb.), kapalı alanın özellikleri hakkında bilgi (katlar, odalar, lavabolar, özel alanlar, vb.), kapalı alandaki nesnelere veya işleyle ilgili bilgi (ürünler, ürün özellikleri, vb.) vermek için VLC kullanılabilmektedir. Şekil 2.30.'da görüldüğü gibi kapalı alanlarda her türlü lokasyon bilgisi alınabildiği için yönlendirme işlemini yapılabilmektedir. Özellikle kullanıcılar adına bir kolaylık ve rahatlık sağlayabilmektedir (Ayub ve ark., 2013).



Şekil 2.30. VLC lokasyon ve yol bulma (Ayub, ve ark., 2013)

Konum belirlemenin yapıldığı uygulamalarda, eğer alıcı ve vericinin yerleri belirlenebilirse bu uygulamaya ek olarak yönlendirme veya en kısa yolu bulma gibi çeşitli eklemeler yapılabilmektedir. A noktası ile B noktası arasındaki en kısa yolu bulmanın birden fazla yolu bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; Dijkstra Algoritması, Flowd-Warshall Algoritması ve Bellman-Ford Algoritması sayılabilir. Bu algoritmaların kullanım alanlarına göre birbirlerine üstünlük sağladığı görülmektedir. Örneğin Dijkstra Algoritması bir noktadan tüm hedef noktalara olan en kısa mesafeyi bulmakta daha

verimli bir yapıya sahiptir. Bellman-Ford Algoritması ise daha basit bir algoritmaya sahiptir ve noktalar arası negatif güzergahları kullanabilir. Bunun dışında Floyd-Warshall Algoritması tüm noktalardan tüm noktalara en kısa mesafeyi bulma işlemini gerçekleştirebilir. Bu işlemle beraber aslında birden fazla Dijkstra Algoritmasını çalıştırmış olacaktır (Cargal, 1998).

VLC sistemlerinde de konumu belirlenen alıcı ve vericiler aracılığı ile bu tarz algoritmalarla beraber yönlendirme ve yol bulma gibi işlemler yapılabilir. Kapalı alanlarda kullanılan VLC sistemleri sayesinde kullanıcı veya herhangi bir nesnenin bir konumdan başka bir konuma aktarılması ışık kaynakları ile gerçekleştirilmektedir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyaller

VLC sistemleri genel olarak alıcı, verici ve işlemci gibi birbiri ile bağlantılı sistemlerden meydana gelmektedir. VLC sistemi Şekil 3.1.'de belirtildiği gibi basit aydınlatma materyalleri, ışığı algılayabilecek bir sensör ve hem aydınlatma aracını hem de sensörü kontrol edebilen, veri işleyebilen bir işlemciden meydana gelir. VLC sistemleri ile birlikte aydınlatma amacıyla kullanılan LED, lazer diyot gibi elemanlar verici, ışığı algılamaya yarayan fotodiyot, fototransistör, görüntü sensörü gibi elemanlar alıcı olarak işlev görmektedir. Bu elemanların herbiri bir işlemci ile kontrol edilmekte ve haberleşmeye olanak sağlamaktadır.



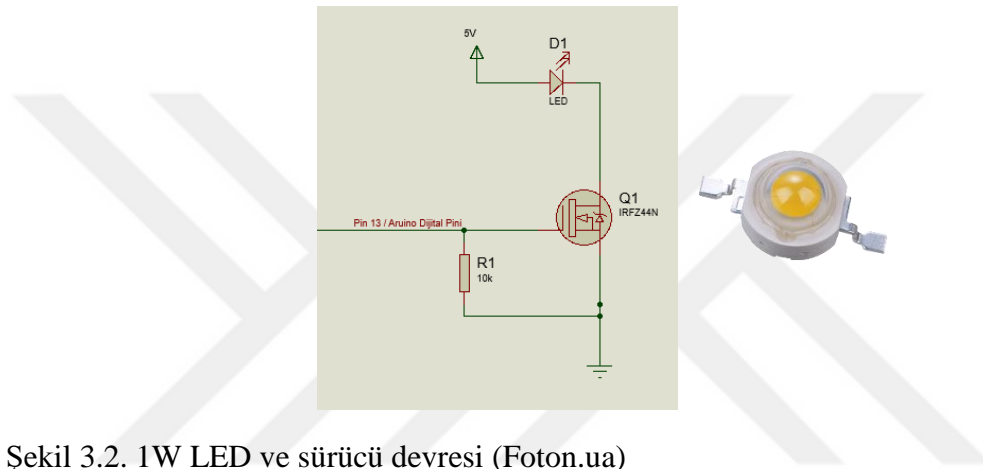
Şekil 3.1. VLC sistemi

3.1.1. Verici

Kablosuz haberleşme sistemlerinde veri aktarmak için kullanılan kısımdır. VLC sisteminde verici bilgi vermenin yanı sıra aydınlatma amacıyla da kullanılmaktadır. Günümüz teknolojisinde aydınlatma ve bilgi vermek için kullanılacak en uygun materyaller LED'lerdir. Genel özellikleri, verimi, performansı dolayısıyla LED teknolojisi aydınlatma alanında önemli bir alanı temsil etmektedir. VLC sistemlerinde veri iletme özelliği, LED'lerin 20 MHz'den daha fazla olabilen açılıp kapanabilmesi sayesinde aydınlatmada da sıkıntı yaşamadan sağlanmaktadır.

Çizelge 3.1. 1W LED 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



Şekil 3.2. 1W LED ve sürücü devresi (Foton.ua)

Şekil 3.2.'de verici kısmını ilgilendiren devre şeması verilmiştir. İşlemci dijital çıkışına IRFZ44N Mosfet devresi kurulmuş ve bu devre Çizelge 3.1.'de özellikleri verilen 1 W LED2e bağlanmıştır. Proteus ortamında sistemimiz prototip olarak tek LED kullanılarak test edilmiştir. Aynı sistemin sadece LED sayısının artırılması ile gerçek bir ortam ve aydınlatma sistemi olarak da kullanılabilceği görülmüştür.

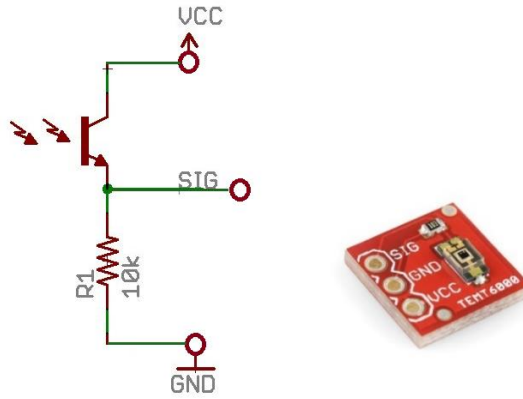
3.1.2. Alıcı

Kablosuz haberleşme sistemlerinde veriyi toplayan ve gerektiğinde bir takım işlemlerle veriyi okunmaya hazırlayan kısım alıcı olarak isimlendirilmektedir. VLC sistemlerinde alıcı olarak ışığı algılayabilen sensörler ve kameralar aktif olarak kullanılabilir. Alıcı da aranan en önemli özellik gönderilen verinin hızını yakalayabilmesi ve hızlı veri okuması yapabilmesidir.

Sistemimizde alıcı olarak Çizelge 3.2.'de özellikleri verilen TEMP6000 Fototransistör kullanılmıştır. Şekil 3.3.'de verilen fototransistör basit olarak üzerinde ışık düşmesi halinde kolektör emiter hattından akım geçmesine izin vermekte ve emiter toprak arasına bağlanmış direnç üzerinden akım geçmesini sağlamaktadır. Direnç üzerinde oluşan gerilim ışığın şiddetine göre değişmekte ve bir işlemciyle okunabilir veriler haline gelmektedir. Sensörümüz işlemcinin analog girişi sayesinde 0-5V arasında bir gerilim oluşturmaktadır.

Çizelge 3.2. 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



Şekil 3.3. TEMP6000 ve devresi (Company, 2011)

3.1.3. İşlemci

Haberleşme sistemlerinde hem alıcı hem de vericiyi kontrol edecek, veriyi aktaracak ve veriyi alıgilacak olan işlemciler kullanılmaktadır. Sistemimizde işlemci olarak Şekil

3.4.'de verilen Atmega328 mikrokontrollör kullanılmıştır. Atmega328 Çizelge 3.3.'de özellikleri verildiği gibi; 0-5V işlem gerilimi, 16Mhz clock hızı, dijital ve analog giriş-çıkışları ve kolay programlanabilir özelliktedir.

Çizelge 3.3. Arduino Atmega328p özellikleri

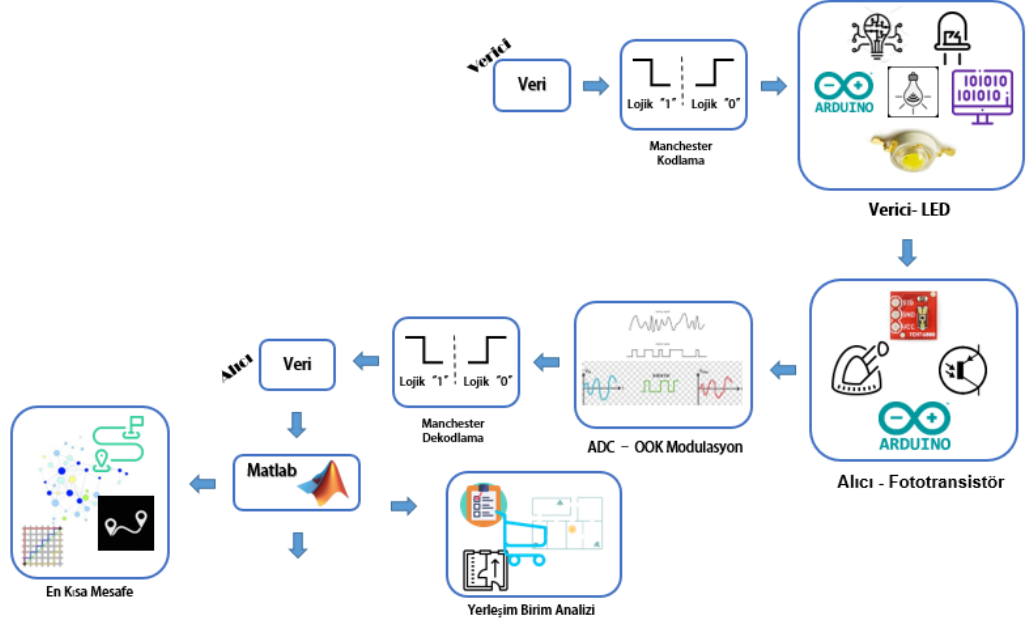
Mikrokontrollör	ATmega328
Çalışma Gerilimi	5V
Besleme Gerilimi	7-12V
Dijital I/O Pinler	14 (6 adeti PWM Çıkış verebilir)
Analog Giriş Pinleri	6
I/O Pinleri DC Akım	40 mA
Clock Hızı	16 MHz



Şekil 3.4. Arduino Atmega328p (Inc., 2018)

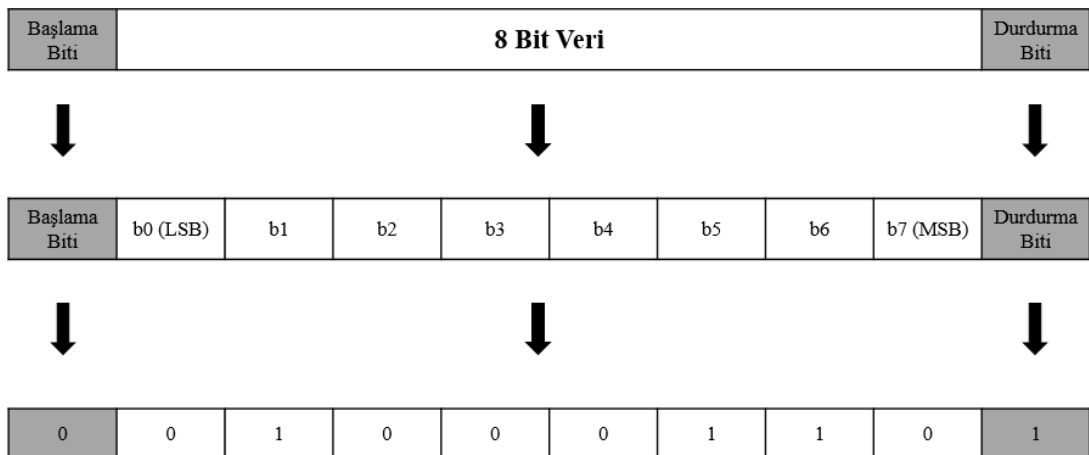
3.2. Yöntemler

VLC sistemlerinde genel olarak kullanılan yöntemler belirlenmiştir. Bu yöntemlerde esas verinin oluşturulması, işlenmesi, gönderilmesi, tekrar işlenmesi ve modüle edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Verinin oluşturulması, algılanması ve işlenmesi için kullanılan yöntemler; alıcı ve verici kısmında bilginin kodlamasında ve çözümlenmesinde kullanılan Manchester Kodlama, ayrıca verici çıktısının işlenmesi için modüle edilen OOK (on/off anahtarlama)'dir. Bu işlemler sonrasında veri elde edilip Şekil 3.5.'de verildiği gibi istenilen amaç doğrultusunda kullanılıp işlenebilir.



Şekil.3.5. Sistem blok diyagramı

Verici tarafından üretilen bilgiler işlemci tarafından 8 bitlik veriler olarak üretilmektedir. Bu verilerin başlama ve sonlanmalarının belirlenmesi için Başlama Biti (0) ve Durdurma Biti (1) eklenmiştir. Verimiz son olarak Şekil 3.6.'da gösterildiği gibi Başlama Biti - 8 Bit veri – Durdurma Biti şeklinde 10 bitlik bir veri halini almaktadır.

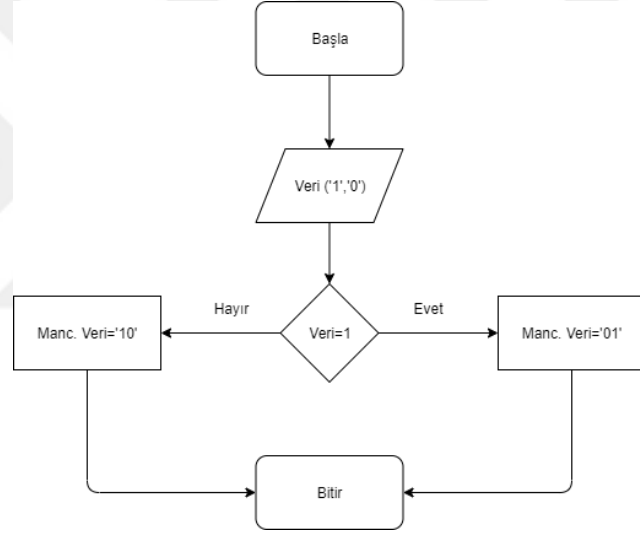


Şekil 3.6. 8 Bitlik bir veri başlama ve durdurma bitleri gösterimi

8 Bitlik 'b' harfinin ikili sistemdeki karakteri (01100010) örnek olarak verilmiştir.

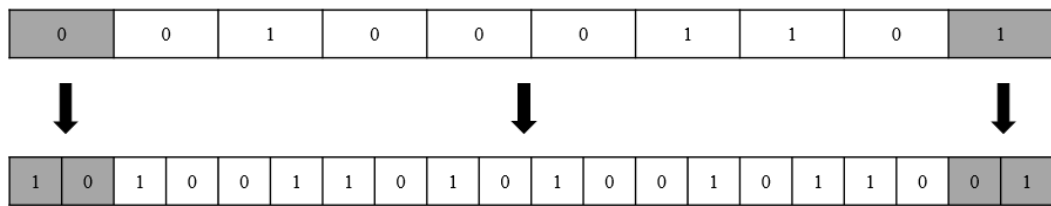
3.2.1. Manchester kodlama

Manchester kodlama bir verinin kolay ve hatasız bir şekilde alıcı verici arasındaki işlemlerini tamamlamasını sağlamaktadır. Manchester kodlama Şekil 3.7.'de verilen akış şemasında gösterildiği gibi bir bitlik verinin iki bit şeklinde kodlanması olarak gözlemlenmektedir. Sistemimizde verici kısmında gönderilmek istenen veri başlama ve durdurma bitleri ile 10 bitlik bir veri haline gelmiştir. Manchester kodlamaya göre bu verinin '0' olan bitleri '10', '1' olan bitleri ise '01' olarak tekrar kodlanmaktadır. Sonuç olarak 10 bitlik verimiz Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi 20 bitlik bir veri şeklini almaktadır. Verici kısmında bu veri digital çıkışlara aktarılarak verici üzerinden alıcıya aktarılır.



Şekil 3.7. Manchester kodlama akış şeması

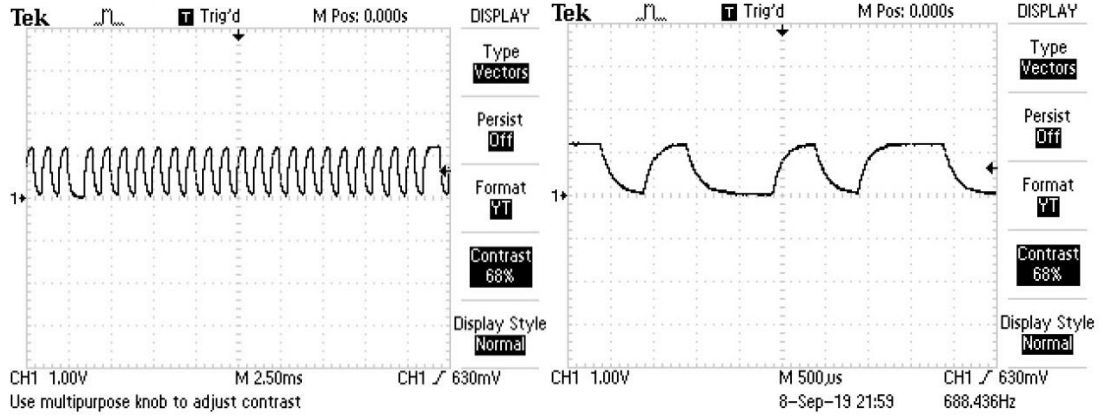
Manchester kodlama sonrasında oluşturulan verinin verici – LED ile aktarılması kalmaktadır. Digital bilgi LED'in kapanıp sönmesiyle alıcıya aktarılmaya çalışılır.



Şekil 3.8. 8 Bitlik verinin manchester kodlama öncesi ve sonrası

3.2.2. Modülasyon – on/off anahtarlama

Alıcı olarak kullanılan sensör çıktı olarak 0-5V gerilim aralığında analog değerler vermektedir. İşlemcinin analog girişi sayesinde alınan analog değerler mikrokontrollörün ADC/Analog-Dijital Dönüştürücü sayesinde dijital değerlere dönüştürülür. Sistemimiz için ATmega328'in kendi ADC'si kullanılmıştır. Genel olarak 10 Bitlik (0-1024) bir ADC'dir.



Şekil 3.9. Alıcının analog giriş ölçümü

Ölçümlerin daha hassas olabilmesi için ortalama yükseklik olarak belirlediğimiz 15cm'de sensör çıkışımız Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi yaklaşık olarak 1.5 V olarak gözlenmiştir. Bu gözleme dayanarak ADC'nin referans gerilimi 1.1 V olarak ayarlanmıştır. Bu sayede 0-1.1V aralığının 0-1024 digital değerlerine dönüştürülmüştür (Inc., 2018).

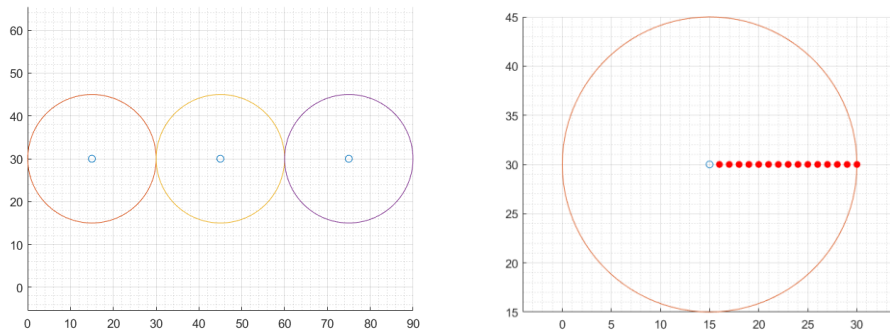
Aynı şekilde sistem ADC mikrokontrollörün içinde bulunduğu için çalışma frekansı sistemin saat frekansına (clock frequency) göre ayarlanmaktadır. Kontrol ve Durum Kaydedicinin gerekli bitlerinde düzenleme yaparak bölünme faktörü ayarlanabilir. Sistemde kullanılmak üzere ADC frekansı 125 KHz olarak ayarlanmıştır (Inc., 2018).

Alıcıya gelen analog veri dijital veriye OOK modülasyonu ile dönüştürüldükten sonra oluşturulan dijital veri 20 bitlik bir veri halindedir. Verinin başlangıç ve son kısımları belirlenir ve tersine manchester kodlama ile içerideki bitler ikili halden '10' olan bitler

'0', '01' olan bitler ise '1' olarak tekli hale dönüştürülür. Sonuç olarak vericiden gönderilen veri alıcı tarafından aynı şekilde okunmuş olur.

3.2.3. RSS yöntemi ile konum belirleme

Kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan konum belirleme yöntemlerinden biri de RSS yani Alınan Sinyal Gücü'ne göre konum belirlemedir. Bu sistemde alıcının vericiden aldığı sinyal gücü değerlendirilerek konum belirlenir. Uygulamamızda RSS yöntemi kullanarak verici etrafında belirli bir alanın konumu saptanabilmektedir. Bu yöntemde alıcının üzerindeki güç esas alınmaktadır. Sistemde kullanılan alıcı ışık sensörü olduğu için, üzerine düşen ışık seviyesine göre farklı değerlerde analog olarak '0-1.1V' gerilim oluşturmakta ve bu gerilim işlemci tarafından dijital '0-1024' arasındaki değerlere dönüştürülmektedir. Konum belirlemek için ihtiyacımız olan alıcı gücü bu değerlerle eşleştirilmiştir.

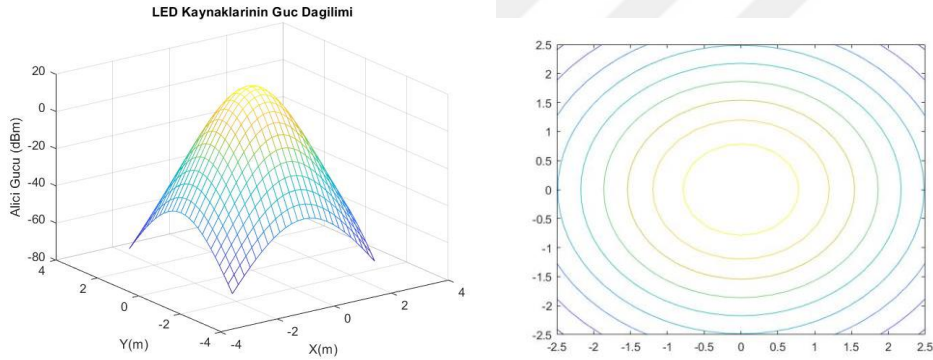


Şekil 3.10. Matlab 3 LED için temsili yerleştirme ve parmak izi yöntemi için aralık belirlenmesi

Sistemimiz bir koridor üzerindeki ışık kaynakları üzerine gerçekleştirilmek istenmemektedir. Bu sistemin için LED'lerin yeri ve etki alanları Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi bir grafik üzerinde belirtilmiştir. Konum belirlemek için kullanacağımız RSS yönteminde yeni değerleri kıyaslamak adına parmak izi (fingerprint) yaklaşımı kullanılmıştır. İlk aşamada ortalama bir LED için 15cm yükseklik ve 15cm'lik yarıçapa sahip bir alan kullanılmıştır. Bu yaklaşımda yükseklik ve odanın eksenlerinden biri sabit; diğer eksen üzerindeki

değişikliklerin RSS ölçümleri tek tek alınmış ve kaydedilmiştir. Bu ölçümler 1 cm'lik aralıklarla kaydedilmiştir.

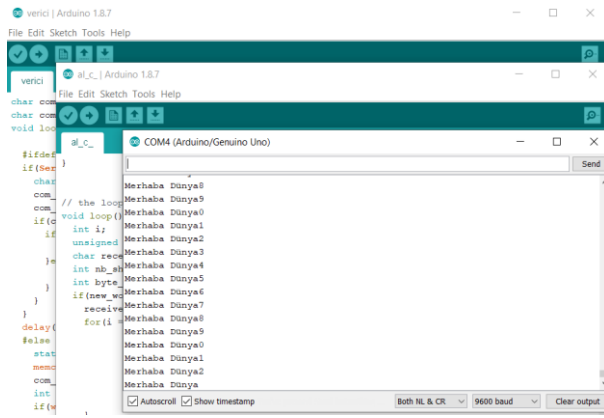
Tek bir LED'in alıcı üzerindeki güç dağılımını gösteren matlab grafiği Şekil 3.11.'de verilmiştir ve bu durumun daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Tek bir LED alıcı üzerinde ortada maksimum ve uzaklaştıkça azalan bir güç dağılımını göstermektedir. Bu da daha önce vermiş olduğumuz alıcı ve verici güç formüllerine dayanmaktadır (Ghassemlooy ve ark., 2013).



Şekil 3.11. Bir LED'in alıcı üzerindeki güç dağılım grafiği (Ghassemlooy ve ark., 2013)

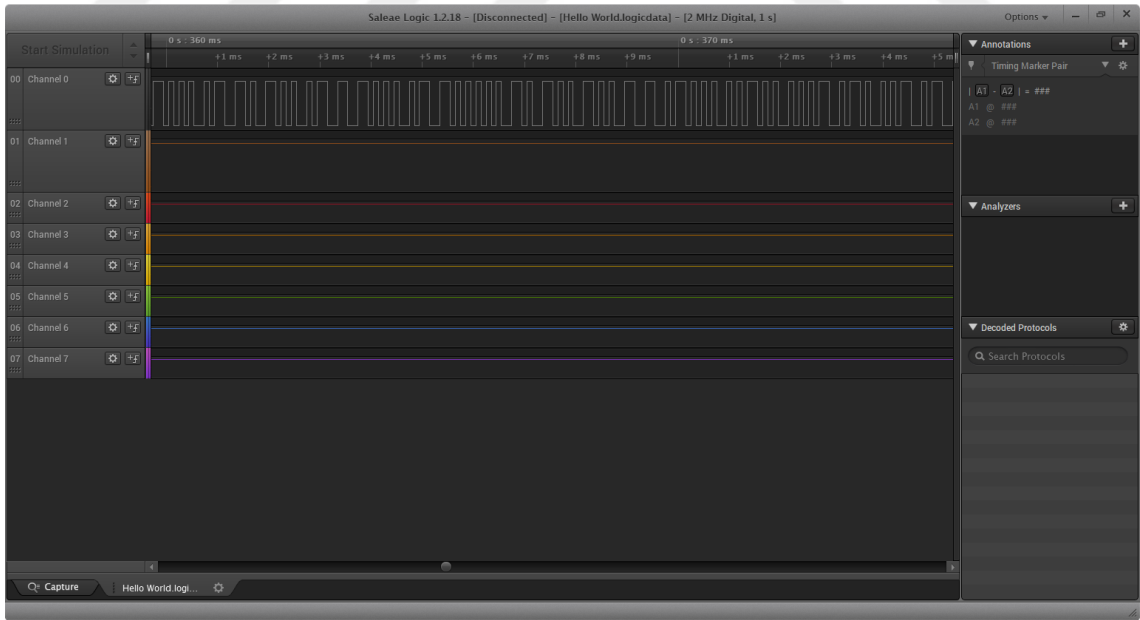
3.2.4. Bilgi aktarımı ve okuma

VLC sisteminde öncelikle verici ve alıcı arasındaki iletişim kabiliyetini sağlamak gerekmektedir. En temel olarak bir verinin yollanmasını gözlemlemek adına 'Merhaba Dünya' verisi alıcıya gönderilmektedir. Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi alıcı serial ekranda bu veri doğrulanmış ve kontrol edilmiştir.



Şekil 3.12. Arduino görünür ışıkla haberleşme ekran çıktısı

Bu veriler vericiden ikili sisteme dönüştürülüp modülasyon aşamasını geçtikten sonra LED aracılığıyla ışığa dönüştürülmektedir. Bu ışık alıcı tarafından alınıp 0-1.1 V değeri dijital 0-1024 değerine dönüştürülür. Ardından verinin '1' ve '0' durumuna göre yükselen ve alçalan kenarlar saptanır. Bu aşamadan sonra verinin bitleri ve bu bitlerin tekrar metin haline dönüştürülmesi kalmaktadır.

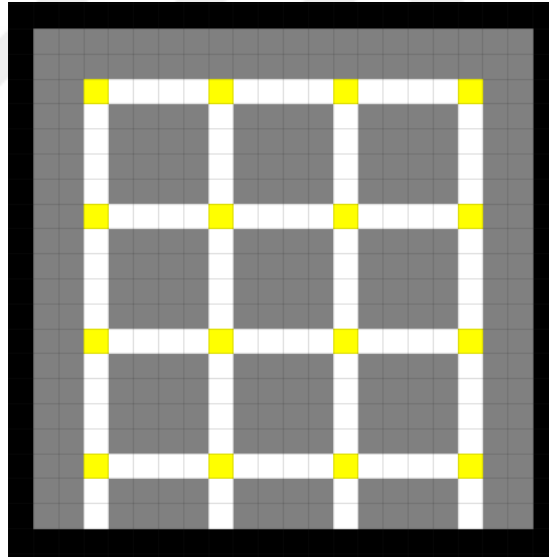


Şekil 3.13. 'Merhaba Dünya' verisinin ikili sistemde gösterimi.

Şekil 3.13.'de görüldüğü gibi her bir biti 100 μ s' de oluşturmaktadır. ASCII Dönüşümü ile 104 bitlik bir veri oluşturur. Başlangıç ve bitiş biti ile veri 106 bit olmaktadır. Bu veri manchester kodlama sonrası 212 bitlik veri olarak aktarılmaktadır.

3.2.5. Yerleşim birimi analizi

VLC sistemlerinin kullanılabileceği kapalı alanlarda aydınlatma araçları birer verici olarak bilgi aktarmak için kullanılabilir. Bu kullanım kapalı alanlarda ışık kaynaklarının yerleşim şemasını, sadece aydınlatma değil aynı zamanda bilgi aktarmak için de en uygun şekilde tasarlanmasını gerektirmektedir. Her ışık kaynağının farklı bir veri iletebilmesi, kendi ID'si olması ve bulunduğu konumda belli bir alana doğrudan etki etmesi kullanım konusunda farklı şekiller sağlamaktadır (Jerome, ve ark., 2014).

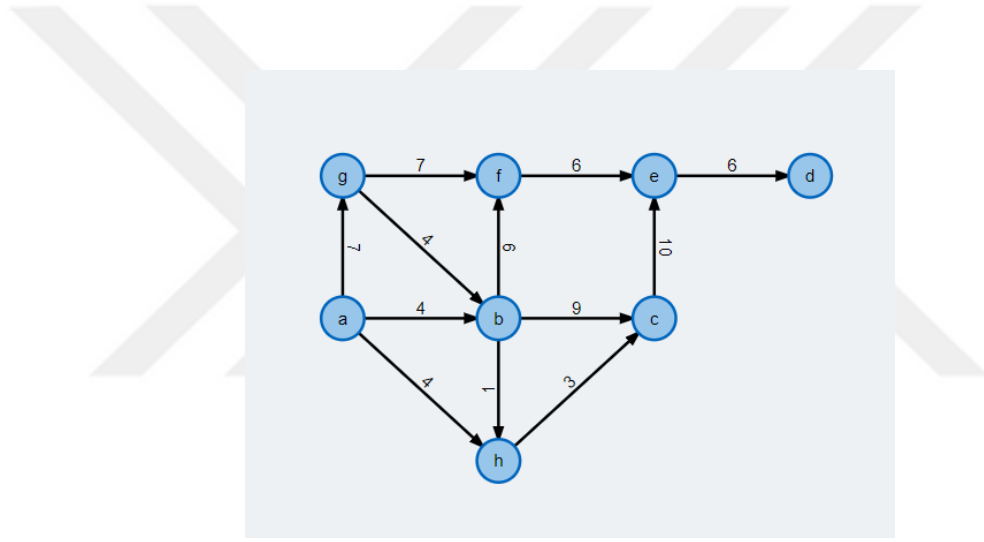


Şekil 3.14. Matlab iki boyutlu üstten bakış yerleşim planı örneği

Şekil 3.14.'de belirtildiği gibi herhangi bir kapalı alanın ışık kaynakları (Sarı ile gösterilmiş), yol (Beyaz ile gösterilmiş) ve geri kalan alan (Gri ile gösterilmiş). Kullanım alanına göre koridor üzerinde bir odayı, markette bir rafı, müzede bir eser köşesini, vb. temsil edebilir.

3.2.6. Floyd warshall algoritması

En kısa yol algoritması için Floyd-Warshall Algoritması kullanılmıştır. Hesaplama süresi ve sistemimize uygunluğu düşünüldüğünde diğer kısa yol bulma algoritmalarına göre daha uygun olarak görünmektedir. Dijkstra yönteminin 5 noktadan daha az hedefi bulunan alanlarda daha uygun olduğu, Bellman-Ford ve Floyd-Warshall Algoritmaların 5 – 10 hedef bulunun alanlarda daha iyi sonuç verdiği ve 10 noktadan daha fazla hedefi bulunan bir haritada en kısa yolu bulmak için doğru seçimin Floyd-Warshall olduğu tespit edilmiştir (Dela Cruz ve ark., 2016).



Şekil 3.15. Floyd- Warshall algoritması ve kısa yol bulma nokta düğüm gösterimi (Voroncovs, 2015)

Floyd Warshall algoritmasında Şekil 3.15.'de görüldüğü gibi öncelikle birbirine komşu olan noktalar arası mesafe saptanmaktadır ve komşu olmayan noktalara sonsuz değer atanmaktadır. Daha sonra birbirine komşu olmayan noktalara, komşu oldukları noktalardan bulunan mesafeler birbiri ile kıyaslanır. Her noktanın birbirine olan uzaklıkları diğer komşularının uzaklıkları ile değerlendirilip Şekil 3.16.'da verilen algoritma ile en kısa yol bulunmasına çalışılmaktadır (Voroncovs, 2015).

“ $\text{shortestPath}(i, j, k) = \min(\text{shortestPath}(i, j, k), \text{shortestPath}(i, k + 1, k) + \text{shortestPath}(k + 1, j, k))$ ”
(Voroncovs, 2015)

```
BEGIN
  FOR ALL  $v \in V$ 
     $d[v][v] \leftarrow 0$ 
  FOR ALL  $(u, v) \in E$ 
     $d[u][v] \leftarrow w(u, v)$ 
    for k from 1 to  $|V|$ 
      for i from 1 to  $|V|$ 
        for j from 1 to  $|V|$ 
          if  $d[i][j] > d[i][k] + d[k][j]$ 
             $d[i][j] \leftarrow d[i][k] + d[k][j]$ 
          end if
        end for
      end for
    end for
  END
```

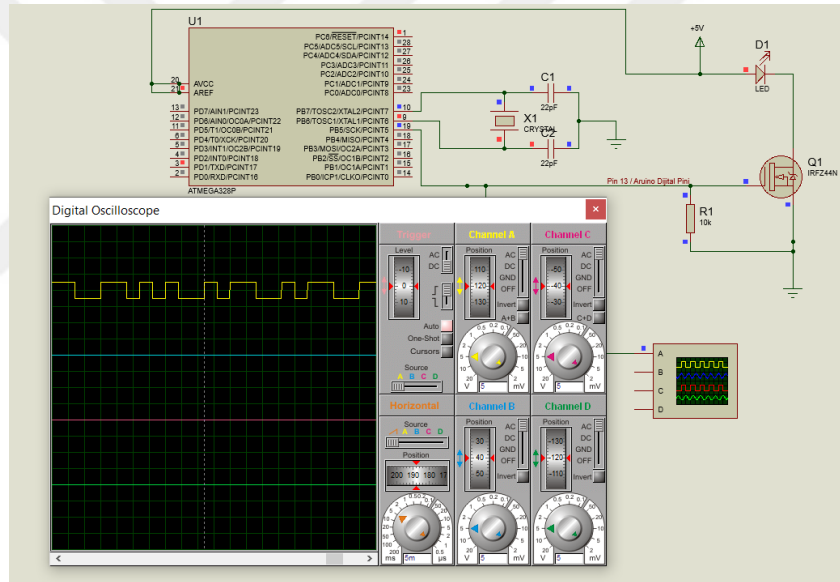
Şekil 3.16. Floyd-Warshall Pseudocode (Voroncovs, 2015)

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Sistem Tasarımı

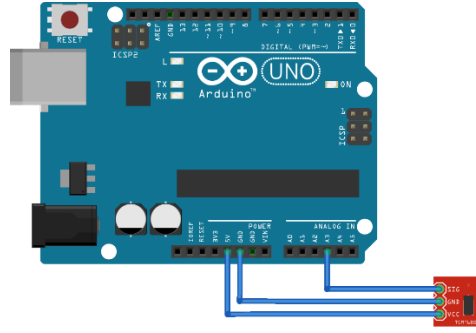
4.1.1. Devre tasarımı ve inceleme

Sistemin elektronik komponentlerini tamamlamak üzere verici devresi Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi Proteus ile test edilmiştir. İşlemci ve verici devresi kurulduktan sonra dijital osiloskop ile verici çıkışı ölçülmüş ve ekranda analiz edilmiştir.



Şekil 4.1. Verici devresi proteus inceleme

Şekil 4.2.'de alıcı devresi ve işlemci bağlantıları verilmiştir. Fritzing uygulaması ile bağlantı yolları gösterilmiştir. İşlemci ve TEMP6000 ışık sensörü devresi gösterildiği kurulmaktadır.



Şekil 4.2. Alıcı devresi fritzing gösterimi (Arduino – TEMP6000)

4.1.2. Dış tasarım LED ve alıcının yerleştirilmesi

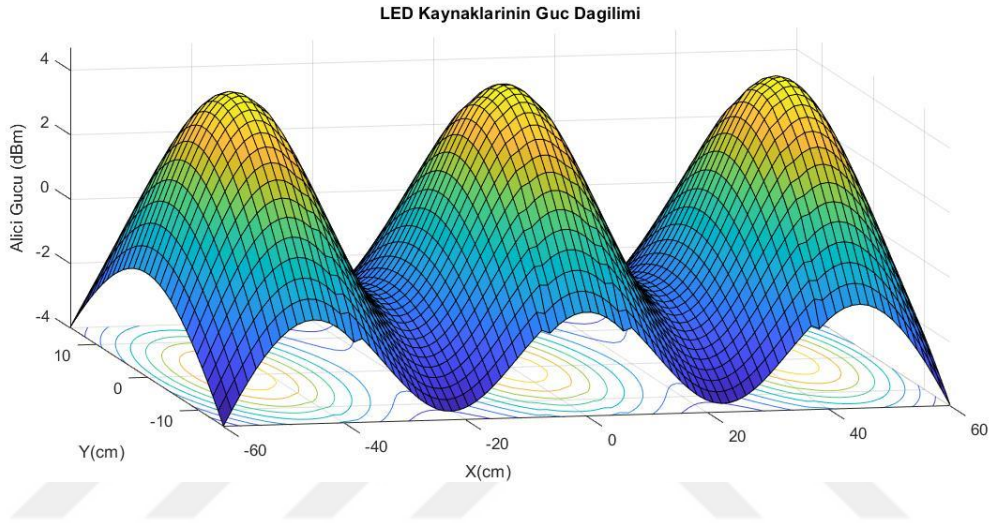
Kapalı alanda kullanmak istediğimiz görünür ışıkla haberleşme sistemini test etmek üzere öncelikle tek LED'ler ile küçük bir alan kullanılmıştır. Şekil 4.3.'de görülen bu sistemde her bir LED için farklı bir alan temsil etmesi ve bu bilgileri alıcı üzerinden işlemciye, oradan da Matlaba aktararak çeşitli çalışmalar için kullanılması beklenmiştir. Bu tasarım ile her bir LED'den farklı bilgiler alabileceğimiz, bilgi aldığımız LED ile beraber alıcının konumunu öğrenebildiğimiz ve bu bilgiyi Matlab'a aktararak kapalı alanlarda yönlendirme gibi çalışmalarda kullanabileceğimiz test edilmiştir.



Şekil 4.3. 3 LED uygulama gösterimi

4.1.3. Sistem güç dağılım analizi

Örnek bir sistem olarak tek sıralı üç LED ile bir koridor oluşturulmuştur. 1 W LED kaynağı ile alıcının üzerine düşen güç dağılım grafiği Şekil 4.4.'de verilmiştir. Bu grafikte daha önceden LED'lerin 15 cm yarıçapında bir alana tesir ettiği gözlemlenmiş ve bu gözlem doğrultusunda LED'ler yerleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Matlab 3 LED Güç Dağılımı Grafiği

4.2. Fingerprint / Parmak İzi Yöntemi

4.2.1. Parmak izi yöntemi ve ölçümlerin yapılması

Fingerprint / Parmak izi yöntemi ile LED'lerin ışığının yayıldığı alanlar alıcının analog girişine gelen sinyal gücü ile ölçülüp LED ve alan ile ilgili bir veri kümesi oluşturulmuştur. Bu sayede alıcı ve vericinin arasındaki yüksekliğin sabit olduğu durumlarda alıcının vericiye olan uzaklığı 'x' veya 'y' ekseninde belirlenebilmektedir. Bunun için öncelikle LED ile alıcı arasında optimum olarak belirlediğimiz 15cm'lik bir mesafe konulmuştur. Tek ekseninde her '1cm' de bir alıcının sinyal gücü değeri ölçülmüş ve ölçülen 100 adet değerlerin ortalaması alınmıştır. Çizelge 4.1.'de ortalama değerler üzerinden oluşturulan mesafeye göre değişen RSS değeri tablosu verilmektedir.

Çizelge 4.1. LED ile Alıcı arası yatay düzlemdeki mesafe ve Alıcıdan aktarılan 10 Bitlik Dijital değer

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

4.2.2. Parmak izi yöntemi için belirli fonksiyon oluşturma

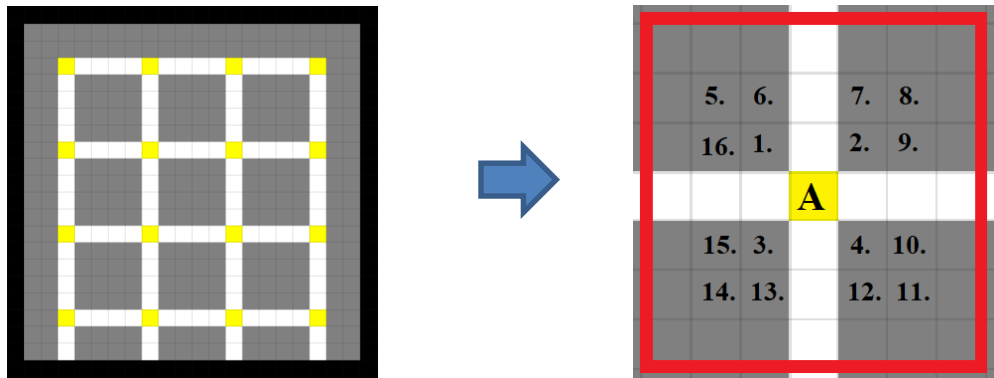
Çizelge 4.1.'de alınan değerler ile Matlab kullanılarak ikinci dereceden bir fonksiyon oluşturup gerçek zamanlı analizler bu fonksiyon üzerinden yapılmıştır. Alınan değerlere göre Matlab tarafından oluşturulan fonksiyon ;

$$F = 6.2345e-05 x^2 - 0.0746x + 20 \quad (4.1)$$

olarak tespit edilmiştir.

4.3. Kapalı Alan Simülasyonu ve LED'lerin Yerleştirilmesi

Uygulamayı test edebilmek üzere Matlab üzerinden bir kapalı alan simülasyonu oluşturulmak istenmektedir. İki boyutlu olarak bir harita oluşturulmuştur. Burada LED'ler 'sarı' olarak, yol güzergahları 'beyaz' ve geri kalan kullanım alanları 'gri' olarak tasarlanmıştır. Her LED iki kare uzağına kadar olan 5x5'lik bir matrisi kapsamaktadır. Bu şekilde kullanım alanları ile ilgili bilgiler bu LED'lere ulaştırılmaktadır.



Şekil 4.5. Kapalı alan genel gösterimi ve tek LED kapsama alanı

Şekil 4.5.'de gösterildiği gibi bir LED için 16 adet farklı kullanım alanı bulunan bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda LED gücü veya kullanım alanlarının boyutları düşürülüp artırılarak istenilen sisteme uygun hale getirilebilir. Bizim anlatmak istediğimiz sistemde örneğin bir market uygulaması için bu kullanım alanlarının herbiri birer ürün rafını temsil edebilir. Bu durumda alıcının konumu ve LED'lerin kapsadığı alanlardaki ürün bilgisi belirlenebilmektedir. Alıcı isteğine göre herhangi bir LED'e yönlendirilebilir.

4.3.1 Kapalı alan simülasyonu ve market uygulaması örneği

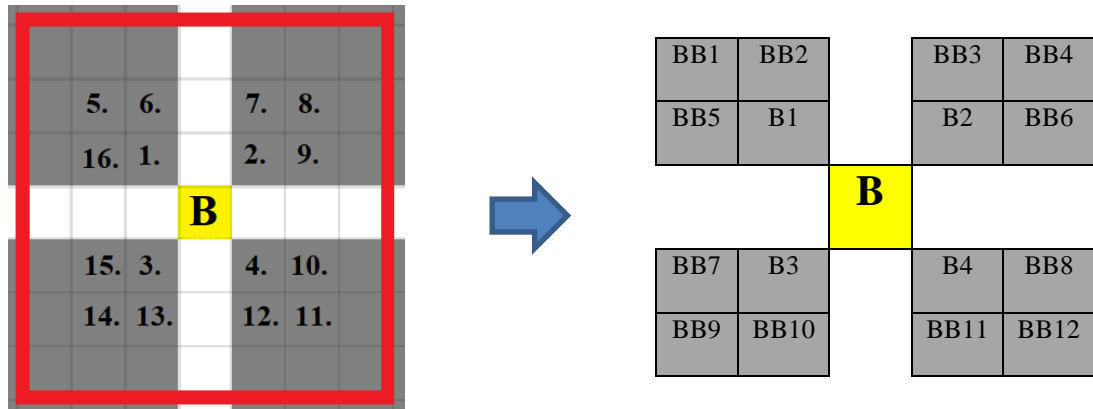
Ürün, Raf veya Kullanım Alanı Tanımlama

Oluşturulan kapalı alanın bir market olarak düşünülmesi üzerine her bir LED etrafındaki kullanım alanları birer raf olarak nitelendirilmiş ve bu raflara yine Matlab üzerinden satılık ürünleri temsil eden 'A2', 'D11', 'PP9', vb. etiketler Çizelge 4.2.'de eklenmiştir. Her LED kendi etrafındaki ürünlerle ilgili bilgi verebilir.

Çizelge 4.2. Hazırlanan ürün listesi kodları

Ürün Listesi Temsili													
MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	NN1	NN2	NN3	NN4	NN5	OO1	OO2	OO3	OO4
OO5	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	MM6	M1	M2	M3	MM7	NN6	N1	N2
N3	NN7	OO6	O1	O2	O3	OO7	PP6	P1	P2	P3	PP7	MM8	M4
P4	PP8	MM9	M5	M6	MM10	NN8	N4	N5	NN9	OO8	O4	O5	OO9
PP9	P5	P6	PP10	MM11	MM12	MM13	MM14	NN10	NN11	NN12	NN13	OO10	OO11
OO12	OO13	PP11	PP12	PP13	PP14	II1	II2	II3	II4	JJ1	JJ2	JJ3	JJ4
KK1	KK2	KK3	KK4	LL1	LL2	LL3	LL4	II5	I1	I2	II6	JJ5	J1
J2	JJ6	KK5	K1	K2	KK6	LL5	L1	L2	LL6	II7	I3	L3	LL7
II8	I4	I5	II9	JJ7	J3	J4	JJ8	KK7	K3	K4	KK8	LL8	L4
L5	LL9	II10	II11	II12	II13	JJ9	JJ10	JJ11	JJ12	KK9	KK10	KK11	KK12
LL10	LL11	LL12	LL13	EE1	EE2	EE3	EE4	FF1	FF2	FF3	FF4	GG1	GG2
GG3	GG4	HH1	HH2	HH3	HH4	EE5	E1	E2	EE6	FF5	F1	F2	FF6
GG5	G1	G2	GG6	HH5	H1	H2	HH6	EE7	E3	H3	HH7	EE8	E4
E5	EE9	FF7	F3	F4	FF8	GG7	G3	G4	GG8	HH8	H4	H5	HH9
EE10	EE11	EE12	EE13	FF9	FF10	FF11	FF12	GG9	GG10	GG11	GG12	HH10	HH11
HH12	HH13	AA1	AA2	AA3	AA4	BB1	BB2	BB3	BB4	CC1	CC2	CC3	CC4
DD1	DD2	DD3	DD4	AA5	A1	A2	AA6	BB5	B1	B2	BB6	CC5	C1
C2	CC6	DD5	D1	D2	DD6	AA7	A3	D3	DD7	AA8	A4	A5	AA9
BB7	B3	B4	BB8	CC7	C3	C4	CC8	DD8	D4	D5	DD9	AA10	AA11
AA12	AA13	BB9	BB10	BB11	BB12	CC9	CC10	CC11	CC12	DD10	DD11	DD12	DD13

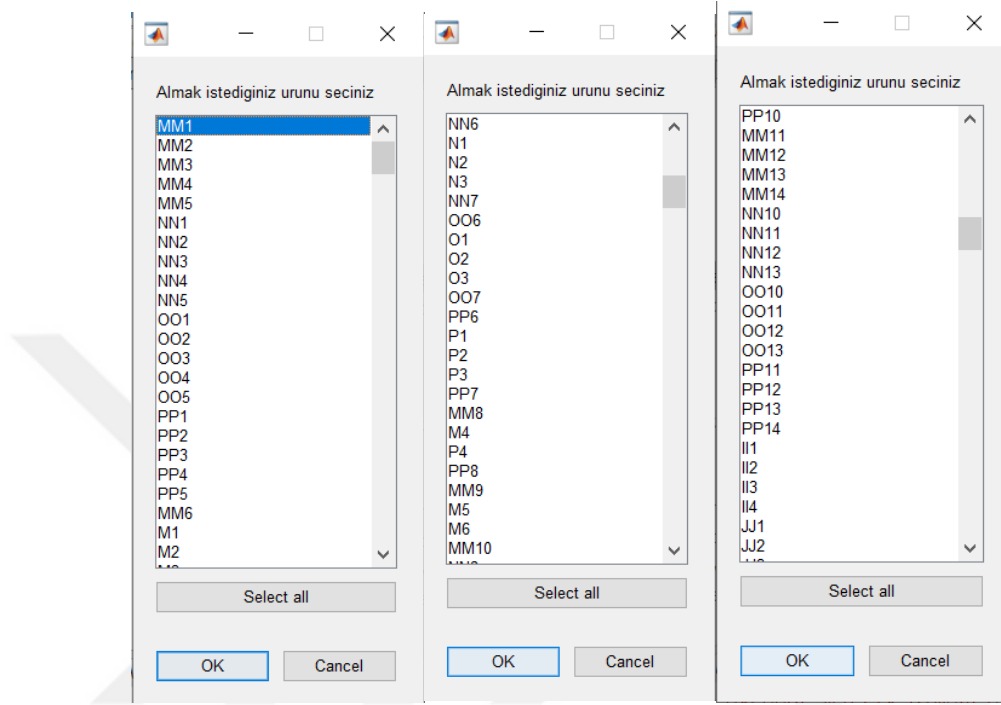
Led'lere kapsama alanında bulunan alanların belirlenmesi



Şekil 4.6. Matlab LED ve çevresi temsili gösterimi

Ürün listesi ve LED'lerin Şekil 4.6.'da gösterilen yerleşim örneği ile birlikte, alıcının hangi LED konumunda olduğu Arduino ve alıcı sayesinde öğrenilmiştir. Bu bilgilerin

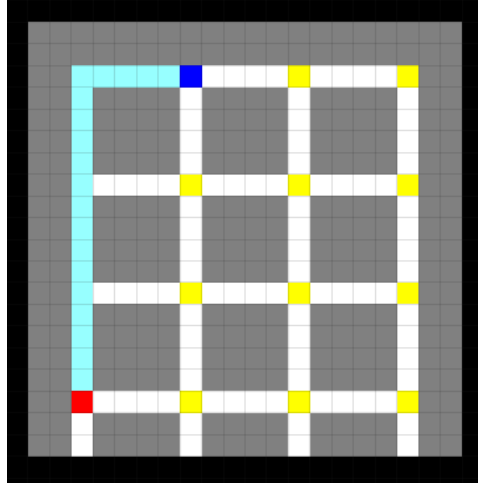
Matlaba aktarılması ve alıcının hangi ürün veya alana gitmek istediği sorulmaktadır. Bu durum Şekil 4.7.’deki seçim menüsü ile gösterilmektedir. Başlangıç konumu ve hedef konumu tespit edildikten sonra o yönde alıcı yönlendirilebilir.



Şekil 4.7. Matlab ürün listesi seçim menüsü

Konumlar Arası Güzergah ve Yol Belirleme

Güzergah belirlenmesi için yine Matlab ile birlikte başlangıç ve sonuç konumu arasında renklendirme yöntemi ile daha önceden oluşturulmuş iki boyutlu harita üzerinden Şekil 4.8.’deki gibi gösterim sağlanmıştır. Başlangıç konumu ‘kırmızı’ ve hedef konum ‘mavi’ ile temsil edilmektedir.



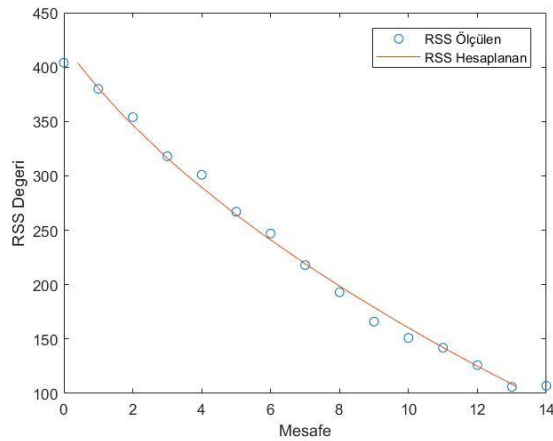
Şekil 4.8. Matlab güzergah belirleme

4.4. Gerçek Konum ve Tahmini Konum Değerlendirmesi

Denklem 4.1’de verilen fonksiyon ile bilinmeyen olarak ölçülen RSS değeri (Alıcının Sinyal Gücü) yaklaşık mesafe değerleri vermektedir. Bununla ilgili hesaplanan ve ölçülen değerler tablosu Çizelge 4.3.’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Ölçülen RSS değerlerinin fonksiyon çıkışında verdiği mesafe değeri

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 4.9. Mesafe- RSS Grafiği

Çizelge 4.3.'de verilen RSS değerler tablosu hem fingerprint yöntemiyle ölçülen değerlerini (RSS), hem de oluşturululan fonksiyon ile bu RSS değerlerinde olması gereken mesafe değerlerini (F(RSS)) içermektedir. Buna göre oluşturulan grafik Şekil 4.9.'da verilmiştir.



5. SONUÇ

Bu çalışma VLC sistemlerinin temel fonksiyonlarını ve bu sistemin kullanılabilceği farklı alanlardaki versiyonlarını gözlemlemek üzere yapılmıştır. Yapılan çalışma ile bir verici ile alıcı arasındaki bilgi alışverişi sağlanmıştır. Temel fonksiyonu haberleşme olan VLC sistemlerinde bu aşamadan sonra kullanım alanları belirlenmiş ve kapalı alanda konum belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kapalı alanlarda ekstra bir haberleşme sistemi kullanmadan, aydınlatma aracı olan ışık kaynaklarıyla konum belirleyebilme özelliği VLC sisteminin kullanım açısından çok avantajlı bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışma kapalı alanda konum belirleme işlemi ile çeşitli kapalı alan örnekleri (market, müze, ofis, vb.) üzerinde konum belirlemenin nasıl kullanılabilceğine dair farklı fikirler de vermektedir. Bu çalışma ile öncelikle bilgi aktarımı sağlanmış ve LED'ler ile kapalı alanda istenilen LED üzerinden alıcıya istenilen verinin aktarılacağı görülmektedir. Veri aktarmanın işlemciler üzerinden LED'lerin kapsadığı alanları belirlemek ve kapsama alanını; alan ile ilgili bilgi verme veya yönlendirme yapabileceği gözlemlenmiştir. Matlab ile kapalı bir alan simülasyonu tasarlanmış ve bu tasarı üzerinden alıcının konumu ve hedef konumda bulunan vericiye olan en kısa mesafe Floyd-Warshall yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemle belirlenen güzergah yine Matlab üzerinden belirtilmiştir. Kapalı alanda sabit olarak yerleştirilmiş LED'lerin kapsama alanı içinde de RSS yöntemi ile konum belirleme yapılmıştır. RSS yönteminde yapılan ölçümlerin artması ve en uygun fonksiyonun belirlenmesinin, yeni yapılan ölçümler üzerindeki tahminin doğruluğunu arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki RSS ile konum belirleme işleminin literatürdeki örneklerine kıyasla yüksek hassaslık ve doğruluk ile çalışmadığı gözlemlenmiş ancak uygulama örneğimiz için yeterli verimliliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmada oluşturulan örnek ve işlemlerin benzer uygulamalarda da kullanılabilceği belirlenmiştir. Sistem çalışmasının kontrolü için alıcı ve vericilerle uygulama düzeneği kurulmuştur. Uygulama üzerinden de çalışmanın gerçekleştirilebilirliği test edilmiştir.

Bu çalışma ile VLC sistemlerinin sadece birkaç kullanım özelliği verilmekte ve üzerine hala yeni çalışmalar yapılabileceği gözlemlenmektedir. VLC ile ilgili literatür araştırıldığı zaman bu tür çalışmaların yapıldığı gözlemlenmektedir. Haberleşme sistemi olarak eksikleri günden güne geliştirilmektedir. Bunun yanısıra haberleşmenin dışında da

kullanım alanları üretilmekte ve bu kullanımların gerçekleştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. VLC sistemleri aktarılan veri miktarı, veri kalitesi, veri hızı, alıcı ve verici sayısı, ayrıca kullanım alanı olarak birden fazla geliştirilebilir özelliğe sahiptir. Bu çalışmayla ilgili olarak da VLC sistemlerinin konum belirleme gibi alanlarda da kullanılabildiği görülmüştür. Konum belirleme özelliğinin her türlü kapalı alana uygulanabilir olduğu ve bu nedenle yapılan çalışmaların sürekli devam edeceği tahmin edilmektedir. Hem haberleşme alanında hem de diğer kullanım alanlarında yapılacak çalışmaların devamı ve VLC sistemlerinin geliştirilmesi ile günlük hayatımızda daha fazla karşımıza çıkması beklenmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2019, <https://ieeexplore.ieee.org/browse/standards/get-program/page/series?id=68>, (4 Ekim 2019).
- Ayub, S., Kariyawasam, S., Honary, M. ve Honary, B., 2013, Visible Light ID System for Indoor Localization. ICWMMN2013 Proceedings, 254-258.
- Blaunstein, N., Arnon, S., Zilberman, A. ve Natan, K., 2010, Applied Aspects of Optical Communication and LIDAR, Boca Raton: Taylor and Francis Group.
- Brena, Ramon F., Vazquez, Juan Pablo Garcia, Tejada, Carlos E. Galvan, Rodriquez, David Munoz, Rosales, Cesar Vargas, Fangmeyer Jr., James, 2017, Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey. Hindawi Journal of Sensors, 1-21.
- Cargal, J. M., 1998, Recommended Books in the Mathematical Sciences, <http://www.cargalmathbooks.com/9%20Shortest%20Paths%20.pdf>, (4 Ekim 2019).
- CCSDS 880.0-G-3 Informational Report, 2017, Wireless Network Communications Overview For Space Mission Operations. Washington: CCSDS.
- Chouhan, S. ve Deepak, S., 2013, Performance Improvement of OFDM System By Using ICI Self Cancellation Technique. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 2(11), 5418-5423.
- Company, V., 2011, Vishay Semiconductor, TEMP6000 Ambient Light Sensor. <https://www.vishay.com/docs/81579/temt6000.pdf>, (4 Ekim 2019).
- Dahril, F. A. ve Jawaid, M. M., 2018, A Review of Modulation Schemes for Visible Light Communications, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 18(2), 117-125.
- Dela Cruz, Jenifer C., Magwille, Glenn V., Mundo, Juan Pacholo E., Gregorio, Gian Paul B., Lamoca, Monique Lorraine L., Villasenor, Jasmin A., 2016, Items-mapping and Route Optimization in a Grocery Store using Dijkstra's, Bellman-Ford and Floyd-Warshall Algorithms. IEEE Region 10 Conference (TENCON) - Proceedings of the International Conference, 243-246.
- Deng, Peng, 2017, Real-Time Software-Defined Adaptive MIMO Visible Light Communications. INTECHOpen, 23-52
- Do, T.-H. ve Yoo, M., 2016, An in Depth Survey of Visible Light Communication Based Positioning Systems. MDPI Sensors, 16(678), 1-40.
- Doughangi, H., 2017, Kapalı Alanda Konum Belirleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ergül, Ö., Dinç, E. ve Akan, Ö. B., 2015, Communicate to illuminate: State-of-the-art and research challenges for visible light communications. Physical Communication 17, 72-85.
- 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.
- Ertürk, S., 2019, Sayısal Haberleşme, Birsen Yayıncılık, Tokat.
- Fişne, A., 2015, Görünür Işık Haberleşmesinde Kırpma Gürültüsünün Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

- Foton.ua, Foton Good Light for Your Life, 1W High Power LED Datasheets. <https://foton.ua/upload/datasheet/1w/1W%20High%20Power%20LED.pdf>, (4 Ekim 2019).
- 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.
- Ghassemlooy, Z., Alves, L. N., Zvanovec, S. ve Khalighi, M.-A., 2017, Visible Light Communications Theory and Applications, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Ghassemlooy, Z., Popoola, W. ve Rajbhandari, S., 2013, Optical Wireless Communications System and Channel Modelling with Matlab, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Haruyama, S., 2013, Japan's Visible Light Communications Consortium and Its Standardization Activities, Keio University, Faculty of Science and Technology, Yokohama.
- Inc., M. T., 2018, Data Sheet Complete, ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P, Microchip Technology Inc..
- Islim, M. S. ve Harald, H., 2016, Modulation Techniques for Li-Fi, ZTE Communications, 14(2), 29-40.
- Iturralde, D., Sequel, F., Azurdia, C. ve Khan, S., 2017, A new VLC System for Localization in Underground Mining Tunnels, IEEE Latin America Transactions, 15(4), 581-588.
- Jerome, K., Tony, V. ve Dhanaraj, V. R., 2014, Indoor Navigation Using Visible Light Communication, Texas Instruments India Educators' Conference, 46-52.
- Jonathan, P., 2016., <https://github.com/jpiat/arduino/wiki/Arduino-simple-Visible-Light-Communication>, (15 Ekim 2019).
- Kavas, A. K., 2006. Gsm Modem Tasarımı Ve Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Khan, L. U., 2017, Visible Light Communication: application, architecture, standardization and research challenges, Digital Communications and Networks, Cilt 3, 78-88.
- 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.
- Mamuş, A., 2015, Analysis Of Visible Light Communication Systems and Adaptive Equalization Effects, Master of Science, Kadir Has University, Graduate School of Science and Engineering, İstanbul.
- Medhekar, P., Mungekar, S., Marathe, V. ve Meharwade, V., 2016, Visible light underwater communication using different light sources. International Journal of Modern Trends in Engineering and Research, 635-638.
- Öztürk, M., 2016, Optical Power Distribution and OFDM/OFDMA Modulation for Visible Light Communication, Master of Science, Yıldırım Beyazıt University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Pathak, P. H., Feng, X., Hu, P. ve Mohapatra, P., 2015, Visible Light Communication, Networking and Sensing: A Survey, Potential and Challenges. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 17(4), 2047-2077.
- Perez, G., 2017, Quora, <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-pulse-amplitude-modulation-PAM-and-pulse-code-modulation-PCM>, (16.10.2019).

- PHILIPS, 2016, Indoor Positioning White Paper, <https://cdn.fs.agorize.com/yYsIkB46SAegMUK3hnuz>, (4 Ekim 2019).
- 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.
- Rao, K. D., 2015, Channel Coding Techniques for Wireless Communications, Springer , New Delphi.
- Rappaport, T. S., 2002, Wireless Communications Principles and Practice Second Edition, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Uçar, S., 2017, Visible Light Communication Assisted Secure and Efficient Architecture For Autonomous Platoon, Koç Üniversitesi, Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Anabilimdalı, İstanbul.
- Voroncovs, A., 2015, The Floyd-Warshall Algorithm, https://www-m9.ma.tum.de/graph-algorithms/spp-floyd-warshall/index_en.html, (4 Ekim 2019).
- Wang, H. ve Kim, S., tarih yok Novel Decoding of Run Length Limited Codes for Visible Light Communication, Latest Trends on Communications, 157-160.
- Windlin, C., 2016, Visible Light Communication as a Material for Design, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Yılmaz, O., 2010, Kablosuz Teknolojilerle Kapalı Alanda Konum Belirleme, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, V., 2016, Experimental Demonstration of Indoor Visible Light Communication, Master of Science, İstanbul University Graduate School of Science and Engineering, İstanbul.
- Zafar, F., Bakaul, M. ve Parthiban, R., 2017. Laser Diode Based Visible Light Communication: Toward Gigabit Class Communication, IEEE Communications Magazine, 144-152.
- Zhuang, Yuan, Hua, Luchi, Qi, Longning, Yang, Jun, Cao, Pan, Cao, Yue, Wu, Yongpeng, Thompson, John, Harald, Haas, 2018, A Survey of Positioning Systems Using Visible Lights, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 20(3), 1963-1988.

7. EKLER

7.1. Verici Kodu

Verici Kodu, LED kontrolü (Jonathan, 2016)

```
#include <TimerOne.h>

#include <util/atomic.h>

#define SYMBOL_PERIOD 100

#define WORD_LENGTH 10

#define SYNC_SYMBOL 0xD5

#define ETX 0x03

#define STX 0x02

#define OUT_LED() DDRB |= (1 << 5);

#define SET_LED() PORTB |= (1 << 5)

#define CLR_LED() PORTB &= ~(1 << 5)

unsigned char frame_buffer [38] ;

char frame_index = -1;

char frame_size = -1 ;

unsigned char bit_counter = 0 ;

unsigned short data_word = 0 ;

unsigned char half_bit = 0 ;

unsigned long int manchester_data ;

void to_manchester(unsigned char data, unsigned long int * data_manchester){

    unsigned int i ;

    (*data_manchester) = 0x02 ;

    (*data_manchester) = (*data_manchester) << 2 ;

    for(i = 0 ; i < 8; i ++){
```

```

if(data & 0x80) (*data_manchester) |= 0x02 ;

else (*data_manchester) |= 0x01 ;

(*data_manchester) = (*data_manchester) << 2 ;

data = data << 1 ;

}

(*data_manchester) |= 0x01 ;

}

//emitter interrupt

void emit_half_bit(){

    if(manchester_data & 0x01){

        SET_LED();

    }else{

        CLR_LED();

    }

    bit_counter -- ;

    manchester_data = (manchester_data >> 1);

    if(bit_counter == 0){

        manchester_data = 0xAAAAAAAA ;

        if(frame_index >= 0 ){

            if(frame_index < frame_size){

                to_manchester(frame_buffer[frame_index], &manchester_data);

                frame_index ++ ;

            }else{

                frame_index = -1 ;

                frame_size = -1 ;

            }

        }

```

```

    }

    bit_counter = WORD_LENGTH * 2 ;

    }

}

void init_frame(unsigned char * frame){

    memset(frame, 0xAA, 3);

    frame[3] = SYNC_SYMBOL ;

    frame[4] = STX;

    frame_index = -1 ;

    frame_size = -1 ;

}

int create_frame(char * data, int data_size, unsigned char * frame){

    memcpy(&(frame[5]), data, data_size);

    frame[5+data_size] = ETX;

    return 1 ;

}

int write(char * data, int data_size){

    if(frame_index >= 0) return -1 ;

    if(data_size > 32) return -1 ;

    create_frame(data, data_size, frame_buffer);

    ATOMIC_BLOCK(ATOMIC_RESTORESTATE){

        frame_index = 0 ;

        frame_size = data_size + 6 ;

    }

    return 0 ;

}

```

```

int transmitter_available(){

    if(frame_index >= 0) return 0 ;

    return 1 ;

}

void init_emitter(){

    manchester_data = 0xFFFFFFFF ;

    bit_counter = WORD_LENGTH * 2 ;

}

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    OUT_LED();

    init_frame(frame_buffer);

    init_emitter();

    Timer1.initialize(SYMBOL_PERIOD);

    Timer1.attachInterrupt(emit_half_bit);

}

char * msg = "13" ; // LED bilgisi

char com_buffer [32] ;

char com_buffer_nb_bytes = 0 ;

void loop() {

    #ifdef TRANSMIT_SERIAL

    if(Serial.available() && transmitter_available()){

        char c = Serial.read();

        com_buffer[com_buffer_nb_bytes] = c ;

        com_buffer_nb_bytes ++ ;

        if(com_buffer_nb_bytes >= 32 || c == '\n'){

```

```

if(write(com_buffer, com_buffer_nb_bytes) < 0){
    Serial.println("Transmitter is busy");
}
else{
    com_buffer_nb_bytes = 0 ;
}
}
}
}
delay(10);
#else
static int i = 0 ;
memcpy(com_buffer, msg, 14);
com_buffer[14] = i + '0' ;
int a=0;
if(write(com_buffer, 15) < 0){
    a++;
    Serial.println(com_buffer);
    Serial.println(a);
    delay(10);
}
else{
    i ++ ;
    if(i > 9) i = 0 ;
}
#endif
}

```

7.2. Alıcı Kodu

Alıcı Kodu, TEMT6000 Işık Sensörü Kontrolü (Jonathan, 2016)


```

#include <TimerOne.h>

#define INT_REF

enum receiver_state {IDLE,SYNC,START,DATA};

enum receiver_state frame_state = IDLE ;

#define SENSOR_PIN 3

#define SYMBOL_PERIOD 100

#define SAMPLE_PER_SYMBOL 4

#define WORD_LENGTH 10

#define SYNC_SYMBOL 0xD5

#define ETX 0x03

#define STX 0x02

#define OUT_LED() DDRB=B11111111;

char frame_buffer[38] ;

int frame_index = -1 ;

int frame_size = -1 ;

int RSS=0;

int x=0;

unsigned int signal_mean = 0 ;

unsigned long acc_sum = 0 ;

unsigned int acc_counter = 0 ;

long shift_reg = 0;

void ADC_setup(){

    ADCSRA = bit (ADEN);

    ADCSRA |= /*bit (ADPS0) | bit (ADPS1) | */bit (ADPS2);

#ifdef INT_REF

    ADMUX =bit (REFS0) | bit (REFS1);

```

```

#else

ADMUX = bit (REFS0) ;

#endif

}

void ADC_start_conversion(int adc_pin){

ADMUX &= ~(0x07) ;

ADMUX |= (adc_pin & 0x07) ;

bitSet (ADCSRA, ADSC) ;

}

int ADC_read_conversion(){

while(bit_is_set(ADCSRA, ADSC));

return ADC ;

}

#define START_SYMBOL 0x02

#define STOP_SYMBOL 0x01

#define START_STOP_MASK ((STOP_SYMBOL << 20) | (START_SYMBOL << 18) |
STOP_SYMBOL)

#define SYNC_SYMBOL_MANCHESTER (0x6665)

inline int is_a_word(long * manchester_word, int time_from_last_sync, unsigned int * detected_word){

if(time_from_last_sync >= 20 || frame_state == IDLE){

if((( *manchester_word) & START_STOP_MASK) == (START_STOP_MASK)){

(*detected_word) = ((*manchester_word) >> 2) & 0xFFFF;

if(frame_state == IDLE){

if((*detected_word) == SYNC_SYMBOL_MANCHESTER) return 2 ;

}

return 1 ;

}

}

}

else if(frame_state != IDLE && time_from_last_sync == 20){

```

```

        (*detected_word)= ((*manchester_word) >> 2) & 0xFFFF;

        return 1 ;

    }

}

return 0 ;

}

inline int insert_edge( long * manchester_word, char edge, int edge_period, int * time_from_last_sync,
unsigned int * detected_word){

    int new_word = 0 ;

    int is_a_word_value = 0 ;

    int sync_word_detect = 0 ;

    if( ((*manchester_word) & 0x01) != edge ){

        if(edge_period > (SAMPLE_PER_SYMBOL+1)){

            unsigned char last_bit = (*manchester_word) & 0x01 ;

            (*manchester_word) = ((*manchester_word) << 1) | last_bit ;

            (*time_from_last_sync) += 1 ;

            is_a_word_value = is_a_word(manchester_word, (*time_from_last_sync), detected_word);

            if(is_a_word_value > 0){

                new_word = 1 ;

                (*time_from_last_sync) = 0 ;

                if(is_a_word_value > 1) sync_word_detect = 1 ;

            }

        }

        if(edge < 0){

            (*manchester_word) = ( (*manchester_word) << 1) | 0x00 ;

        }else{

            (*manchester_word) = ( (*manchester_word) << 1) | 0x01 ;

        }

    }

}

```

```

    RSS = analogRead(SENSOR_PIN);

}

(*time_from_last_sync) += 1 ;

is_a_word_value = is_a_word(manchester_word, (*time_from_last_sync), detected_word);

if(sync_word_detect == 0 && is_a_word_value > 0){

    new_word = 1 ;

    (*time_from_last_sync) = 0 ;

}

}else{

    new_word = -1 ;

}

return new_word ;

}

#define EDGE_THRESHOLD 4

int oldValue = 0 ;

int steady_count = 0 ;

int dist_last_sync = 0 ;

unsigned int detected_word = 0;

int new_word = 0;

char old_edge_val = 0 ;

void sample_signal_edge(){

    char edge_val ;

    int sensorValue = ADC_read_conversion();

    ADC_start_conversion(SENSOR_PIN);

#ifdef DEBUG

#ifdef DEBUG_ANALOG

```

```

Serial.println(sensorValue, DEC);

#endif

#endif

if((sensorValue - oldValue) > EDGE_THRESHOLD) edge_val = 1 ;

else if((oldValue - sensorValue) > EDGE_THRESHOLD) edge_val = -1;

else edge_val = 0 ;

oldValue = sensorValue ;

if(edge_val == 0 || edge_val == old_edge_val || (edge_val != old_edge_val && steady_count < 2)){

  if( steady_count < (4 * SAMPLE_PER_SYMBOL)){

    steady_count ++ ;

  }

}else{

  new_word = insert_edge(&shift_reg, edge_val, steady_count, &(dist_last_sync), &detected_word);

  if(dist_last_sync > (8*SAMPLE_PER_SYMBOL)){

    dist_last_sync = 32 ;

  }

  steady_count = 0 ;

}

old_edge_val = edge_val ;

}

int add_byte_to_frame(char * frame_buffer, int * frame_index, int * frame_size, enum receiver_state *
frame_state ,unsigned char data){

if(data == SYNC_SYMBOL/* && (*frame_index) < 0*/){

  (*frame_index) = 0 ;

  (*frame_size) = 0 ;

  (*frame_state) = SYNC ;

return 0 ;

```

```

}

if((*frame_state) != IDLE){

frame_buffer[*frame_index] = data ;

(*frame_index) ++ ;

if(data == STX){

    (*frame_state) = START ;

    return 0 ;

}else if(data == ETX){

    (*frame_size) = (*frame_index) ;

    (*frame_index) = -1 ;

    (*frame_state) = IDLE ;

    return 1 ;

}else if((*frame_index) >= 38){

    (*frame_index) = -1 ;

    (*frame_size) = -1 ;

    (*frame_state) = IDLE ;

    return -1 ;

}else{

    (*frame_state) = DATA ;

}

return 0 ;

}

return -1 ;

}

void setup() {

int i;

```

```

Serial.begin(9600);

Serial.println("Start of receiver program");

OUT_LED();

ADC_setup();

ADC_start_conversion(SENSOR_PIN);

analogReference(INTERNAL);

Timer1.initialize(SYMBOL_PERIOD/SAMPLE_PER_SYMBOL);

Timer1.attachInterrupt(sample_signal_edge);
}

void loop() {

int i;

unsigned char received_data;

char received_data_print ;

int nb_shift ;

int byte_added = 0 ;

if(new_word == 1){

received_data = 0 ;

for(i = 0 ; i < 16 ; i = i + 2){

received_data = received_data << 1 ;

if(((detected_word >> i) & 0x03) == 0x01){

received_data |= 0x01 ;

}else{

received_data &= ~0x01 ;

}

}

}

received_data = received_data & 0xFF ;

```

```

#ifdef DEBUG

Serial.print(received_data & 0xFF, HEX);

Serial.print(" ");

Serial.println((char) received_data);

#endif

new_word = 0 ;

if((byte_added = add_byte_to_frame(frame_buffer, &frame_index, &frame_size,
&frame_state.received_data)) > 0){

frame_buffer[frame_size-1] = '\0';

Serial.println(&(frame_buffer[1]));

if (frame_buffer[1] == '1'){

x=1;

}

if (frame_buffer[1] == '2'){

x=2;

}

if (frame_buffer[1] == '3'){

x=3;

}

if (frame_buffer[1] == '4'){

x=4;

}

if (frame_buffer[1] == '5'){

x=5;

}

if (frame_buffer[1] == '6'){

x=6;

```



```
}  
  
if (frame_buffer[1] == '7'){  
    x=7;  
}  
  
if (frame_buffer[1] == '8'){  
    x=8;  
}  
  
if (frame_buffer[1] == '9'){  
    x=9;  
}  
  
if (frame_buffer[1]== '1' && frame_buffer[2]== '0'){  
    x=10;  
}  
  
if (frame_buffer[1]== '1' && frame_buffer[2]== '1'){  
    x=11;  
}  
  
if (frame_buffer[1]== '1' && frame_buffer[2]== '2'){  
    x=12;  
}  
  
if (frame_buffer[1]== '1' && frame_buffer[2]== '3'){  
    x=13;  
}  
  
if (frame_buffer[1]== '1' && frame_buffer[2]== '4'){  
    x=14;  
}  
  
if (frame_buffer[1]== '1' && frame_buffer[2]== '5'){
```

```

    x=15;

}

if (frame_buffer[1]== '1' && frame_buffer[2]== '6'){

    x=16;

}

Serial.print("Algılanan Sinyal Gucu : ")

Serial.println(RSS);

PORTB=x;

}

}

}

```

7.3. Matlab ve Arduino Bağlantısı ; En Kısa Mesafe ve Yol Bulma

Arduino'dan alınan bilgiler doğrultusunda Matlab üzerinde oluşturulan haritada bulunan konumu ve gidilmesi gereken konumu belirten Matlab Kodu.

```

ar=arduino('COM4','uno');
B8=readDigitalPin(a,'D8');
B9=readDigitalPin(a,'D9');
B10=readDigitalPin(a,'D10');
B11=readDigitalPin(a,'D11');
B12=readDigitalPin(a,'D12');
start_led= B12*16 + B11*8 + B10*4 + B9*2 + B8*1 ;
load('Urun_L?st.mat', 'urun_list')
[indx,tf] = listdlg('ListString',urun_list,'PromptString','Almak istediginiz urunu seciniz');
hedef=strings;
r=26;
c=26;
map=uint8(ones(r,c,1));

```

```

led=zeros(r,c);
mesafe=ones(r,c)*inf;
urun=strings(r,c);
a=0;
for i=1:r
    for j=1:c
        for k=1:3
            map(i,j,k)=255;
            map(1:3,j,k)=0;
            map(24:26,j,k)=0;
            map(i,1:3,k)=0;
            map(i,24:26,k)=0;
        end
    end
end
for i=4:r-3
    for j=4:5:c-3
        for k=1:3
            map(i,j,k)=128;
            map(i,j+1,k)=128;
            map(4:5,4:c-3,k)=128;
        end
    end
end
for i=4:r-3
    for j=8:5:c-3
        for k=1:3
            map(i,j-1,k)=128;
            map(i,j,k)=128;
        end
    end
end
end

```

```

for i=6:5:r-5
    for j=6:c-5
        for k=1:3
            map(i,j,k)=255;
        end
    end
end
for i=r-5:-5:6
    for j=6:5:c-5
        a=a+1;
        led(i,j)=a;
        for k=1:2
            map(i,j,k)=255;
            map(i,j,3)=0;
        end
    end
end
for l=1:16
    [i,j]=find(led==l);
    for a=i-5:i+5
        for b=j-5:j+5
            for k=1:16
                if led(a,b)==k
                    [m,n]=find(led==k);
                    if (abs(m-i)+abs(n-j))<=5
                        mesafe(l,k)=abs(m-i)+abs(n-j);
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end

```

```

mesafe_son=mesafe_fonk(mesafe);
mesafe_son_2=mesafe_fonk(mesafe_son);
mesafe_son_3=mesafe_fonk(mesafe_son_2);
mesafe_son_4=mesafe_fonk(mesafe_son_3);
mesafe_son_5=mesafe_fonk(mesafe_son_4);
data_1=["A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K" "L" "M" "N" "O" "P"];
data_2=["1" "2" "3" "4" "5" "6" "7" "8" "9" "10" "11" "12" "13" "14" "15" "16"];
urun=urun_fonk(urun,led,data_1,data_2,map);
hedef=urun_list(tf,indx);
[r_h,c_h]=find(urun==hedef);
for i=1:16
    for j=r_h-2:r_h+2
        for k=c_h-2:c_h+2
            if led(j,k)==i
                stop_led=i;
            end
        end
    end
end
end

B8=readDigitalPin(ar,'D8');
B9=readDigitalPin(ar,'D9');
B10=readDigitalPin(ar,'D10');
B11=readDigitalPin(ar,'D11');
B12=readDigitalPin(ar,'D12');

start_led= B12*16 + B11*8 + B10*4 + B9*2 + B8*1 ;
[r1,c1]=find(led==start_led);
[r2,c2]=find(led==stop_led);
for i=min(r1,r2):max(r1,r2)
    for l=2:3
        map(i,c1,l)=255;
        map(i,c1,1)=151;
    end
end

```

```

end
for i=min(c1,c2):max(c1,c2)
    for l=2:3
        map(r2,i,l)=255;
        map(r2,i,l)=151;
    end
end

map(r1,c1,:)= [255 0 0];
map(r2,c2,:)= [0 0 255];
imagesc((1:c)+0.5, (1:r)+0.5, map);
colormap(gray);
axis equal
set(gca, 'XTick', 1:(c+1), 'YTick', 1:(r+1), ...
    'XLim', [1 c+1], 'YLim', [1 r+1], ...
    'GridLineStyle', '-', 'XGrid', 'on', 'YGrid', 'on');
function [KNN,map]=KNN_fonk(led,start_led,stop_led,map)
KNN=0;
i=0;
[r1,c1]=find(led==start_led);
    for j=r1-3:r1+3
        for k=c1-3:c1+3
            if led(j,k)==stop_led
                for a=min(r1,j):max(r1,j)
                    for b=min(c1,k):max(c1,k)
                        for l=2:3
                            map(a,b,l)=255;
                            map(a,b,l)=151;
                        end
                    end
                end
            else

```

```

        if led(j,k)>0 && led(j,k)~=start_led
            i=i+1;
            KNN(1,i)=led(j,k);
        end
    end
end
end
end
function mesafe_son=mesafe_fonk(mesafe)
mesafe_son=mesafe;
for i=1:16
    for j=1:16
        if mesafe(i,j) > 0 && mesafe(i,j)<10
            for k=j:16
                if mesafe(j,k)>0 && k~=i && mesafe(j,k)~=inf &&
(mesafe(i,j)+mesafe(j,k))< mesafe_son(i,k)
                    mesafe_son(i,k)=mesafe(i,j)+mesafe(j,k);
                end
            end
        end
    end
end
for i=1:16
    for j=i:16
        mesafe_son(j,i)=mesafe_son(i,j);
    end
end
end
end

```

7.4. Matlab Arduino Gerçek Zamanlı RSS Ölçümü ve Grafiği

```

length=0;
width=30*ones(1,1);

```

```

scatter(length,width);
hold on
r=20;
th = 0:pi/50:2*pi;
xunit = r * cos(th) + 0;
yunit = r * sin(th) + 0; %
h = plot(xunit, yunit);
grid on;
grid minor;
hold on
axis equal
a=arduino('COM4','uno');
emgsignal = zeros();
i=0;
load('C:\Users\EMRE\Documents\MATLAB\position(1cm)ortalamaTEMT.mat');
mesafe=0:14;
p = polyfit(son,mesafe,2);
while true
    i=i+1;
    voltage(i) = (readVoltage(a,'A3')/5)*1023;
    nokta(i)=polyval(p,voltage(i));
    scatter ((0+nokta(i)),0,'r','filled'); % (32,13) noktas?na bir nokta eklenir.
    pause(.5);
    delete(findobj(gca, 'type', 'scatter'));
end

```


8. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Emre GÖZÜAÇIK
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.06.1992 – KONYA
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
Telefon : 544 276 16 56
e-mail : emre.gozuacik@gop.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilimdalı	Devam ediyor
Lisans	Konya KTO Karatay Üniversitesi	2015
Lise	Osman Nuri Hekimoğlu Anadolu Lisesi	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017- Devam ediyor	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği	Araştırma Görevlisi