



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DAİRESEL MESAFE ÖLÇME SİSTEMLERİ
KULLANILARAK SENSÖR GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihad SÜRMEİ

İSTANBUL, 2021



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DAİRESEL MESAFE ÖLÇME SİSTEMLERİ
KULLANILARAK SENSÖR GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cihad SÜRMEİ
(180231001)**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir KOÇ**

İSTANBUL, 2021

05/ 11/2021

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 180231001 numaralı Cihad SÜRMEĒİ'nin hazırladığı "Dairesel Mesafe Ölçme Sistemleri Kullanılarak Sensör Geliştirilmesi" konulu Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 05/11/2021 Cuma günü saat 10:00'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** karar verilmiştir.

Düzeltilme verilmesi halinde:

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı .../.../20... tarihinde, saat ...:... da yapılacaktır.

Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde: Tez adının "....."
....."
şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir KOÇ	05/11/2021	KABUL
Prof. Dr. Bahattin KARAGÖZOĞLU	05/11/2021	KABUL
Doç. Dr. Sadullah ÖZTÜRK	05/11/2021	KABUL
(İkinci Danışman) *.....	.../ .../20...
*.....	.../ .../20...

*2. Danışman varsa doldurulacak

ETİK BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağılı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Cihad SÜRMEİİ

İmza

TEŐEKKÜR

Tez yazım sürecinde desteğini hiç esirgemeyen ve her zaman müsamaha gösteren Ebubekir KOÇ hocama çok teŐekkür ederim.

Yüksek lisansa kaydımızın ilk gününden beri her zaman bize destek olan, yardımcı olan yanına gittiğimiz zaman muhabbetini bizden esirgemeyen Bahattin KARAGÖZOğLU hocama çok teŐekkür ederim.

Cihad SÜRMEĬİ

İmza

DAİRESEL MESAFE ÖLÇME SİSTEMLERİ KULLANILARAK SENSÖR GELİŞTİRİLMESİ

Cihad SÜRMELİ

ÖZET

Bu çalışmada ToF (Time-of-Flight – Uçuş Süresi) yöntemiyle alan taraması yapan LiDAR cihazları ve biyomedikal alanda kullanımları üzerine durulmuş, yapılan çalışma sonucunda 360° alan taraması yapabilen tek boyutlu LiDAR cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen cihazın çeşitli testleri yapılarak sonuçlar rapor halinde sunulmuştur.

Uçuş süresi hedef bir cismin uzaklığının ölçüldüğü bir yöntemidir. Cihazdan çıkan ışıkların hedef cisimden yansıtılarak geri gelmesine kadar geçen sürenin hesaplanması esasına dayanmaktadır. Işığın havadaki hızı bilindiği için ölçülen süre üzerinden mesafe verisi elde edilebilmektedir.

LiDAR sensörleri endüstride, otomotiv sektöründe, son kullanıcı cihazlarında ve biyomedikal gibi hayatın her alanında kendine yer bulmaya başlamıştır. Özellikle otonom araç ve robotlarda kullanımı yaygınlaşan bu cihazlar telefonlarda dahi kullanılmaktadır. Medikal alanda ise beden hacmi hesabı, tıbbi görüntüleme cihazlarında odaklama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Yakın zaman araştırmalarında ise radarlı ve LiDAR bulunan hibrit ürünlerde kanserli doku ve tümör tespiti, damar yollarının bulunması, hasta güvenliği ve düşme tespiti gibi uygulamalarda denemeleri yapılmaktadır.

Bu çalışmada LiDAR cihazlarda uçuş süresi prensibinin incelenmesi, LiDAR cihaz türleri ve içyapısı üzerine durulmaktadır. LiDAR cihazlar için algılayıcı sensörler, lazer ışık kaynakları ve ToF sürücüler incelenmiş gerekli parametreler

ışığında LiDAR sens3r seğimi yapılmıştır. Karar verilen LiDAR sens3r ile 360° alan taraması yapabilen bir cihaz projesi geliştirilip 3r3n haline getirilmiştir.

Proje sonucu tasarlanan LiDAR cihazı ilk olarak boş bir karton kutu içerisine yerleştirilerek tarama işlemi yapılmıştır. Ardından kutu içerisine ayrı ayrı 3 cisim daha yerleştirilerek tarama sonuçları elde edilmiş karşılaştırılması yapılmıştır.

ęalıřma sonucu elde edilen veriler ışığında ilk aşamada daha hızlı tarama yapılabilecek sens3rler bulunarak alan içerisindeki cisimlerin daha hızlı tespitinin yapılması amaçlanmaktadır. Otonom olarak hareket edebilen robotlarda rahatlıkla kullanılabilecek bir 3r3n geliştirilmesi başlıca amaçlarımız arasında yer almaktadır. Ayrıca optik ve mercek konusunda uzman ęeřitli kurum veya kuruluşlarla iletişime geğilip daha uzak mesafeler için ęalıřmalarımız s3reacaktır.

Anahtar Kelimeler; Time-of-Flight, LiDAR, Medikal Alanda LiDAR, 3D LiDAR Kamera, LiDAR T3rleri

DEVELOPMENT OF SENSOR USING CIRCULAR DISTANCE MEASUREMENT SYSTEM

Cihad SÜRMEĻİ

ABSTRACT

In this thesis, LiDAR devices that perform field scanning with the ToF (Time-of-Flight) method were examined and their use in the biomedical sector was investigated. As a result of the study, a one-dimensional LiDAR device capable of 360° field scanning was developed. Various tests of the developed device were performed, and the results were presented in a report.

Time-of-flight is a method of measuring distance using various signals. The time taken for the transmitted light to reach the target and reflect, and return is calculated. Since the speed of the light in the air is known, distance data can be obtained over the measured time.

LiDAR sensors have started to find a place for themselves in industry, automotive sector, end-user devices and in all areas of life such as biomedicine. These devices, which have become widespread especially in autonomous vehicles and robots, are also used in phones. In the medical sector, it is used for body volume calculation and for focusing purposes on medical imaging devices. In recent research, hybrid products with radar and LiDAR have been tested in applications such as cancerous tissue and tumor detection, vascular access, patient safety and fall detection.

In this thesis, the time-of-flight principle in LiDAR devices, LiDAR device types and their internal structure are examined. Detection sensors, laser light sources and ToF drivers for LiDAR devices were examined and LiDAR sensor selection was made in the light of the necessary parameters. A device project that can scan 360° area with the specified LiDAR sensor has been developed and turned into a product.

The LiDAR device designed as a result of the project was first placed in an empty cardboard box and scanned. Then, 3 more objects were placed in the box separately, and the scanning results were obtained and compared.

Based on the data obtained, sensors that can scan faster will be investigated in the first stage. In this way, objects in the area will be detected faster. Developing a product that can be used easily in autonomously moving robots is among our main goals. In addition, various institutions or organizations specialized in optics and lenses will be contacted and we will continue to extend the work to cover longer distances.

Keywords: Time-of-Flight, LiDAR, LiDAR in medical, 3D LiDAR Camera, Lidar Types

ÖNSÖZ

Bu tez akademik olarak ülkemizde araştırmaların az olduğu LiDAR cihazlar ve ToF sensörleri üzerinedir. Umarız bu alanda araştırma yapmak isteyen ülkemiz gençleri için faydalı olur. Özellikle otonom araçların gözdesi olan bu cihazların ülkemizde de üretilmesi dileğiyle.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
ÖNSÖZ.....	ix
SEMBOLLER	xii
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
KISALTMALAR	xvi
GİRİŞ	1
1. LiDAR	4
1.1. TIME-OF-FLIGHT	8
1.1.1. Methodlar	9
1.1.1.1. Pulsed Method (Pals – Darbe Metodu).....	9
1.1.1.2. Continuous Wave Method (CW - Sürekli Dalga Metodu)	10
1.1.2. Sensörler	11
1.1.2.1. Lazer	12
1.1.2.2. Infrared (Kızılötesi)	15
1.2. LiDAR TÜRLERİ	17
1.2.1. Time-of-Flight LiDAR	17
1.2.1.1. Scanning LiDAR.....	18
1.2.1.1.1. Mechanical Scanning LiDAR	18
1.2.1.1.2. Solid State Scanning LiDAR	19
1.2.1.2. Flash LiDAR.....	23
1.2.1.3. Time-of-Flight LiDAR Karşılaştırması	25
1.2.2. Coherent Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) LiDAR	28
1.3. KULLANIM ALANLARI	29
2. DONANIM TASARIMI	32

2.1. KULLANILACAK DONANIM EKİPMANLARI.....	32
2.1.1. VL53L1X	32
2.1.2. Mikrodenetleyici	37
2.1.3. CH340G	38
2.1.4. UTT70N06 Mosfet ve IR2101 Mosfet Driver	39
2.1.5. Flanşlı Döner Aktarıcı Kablo	41
2.1.6. SM351LT Manyetik Sensör	42
2.2. BASKI DEVRE KARTI (PCB)	44
2.2.1. Ana Kart	44
2.2.2. ToF Kartı.....	46
2.2.3. Haberleşme Kartı.....	48
3. YAZILIM.....	50
3.1. MİKRODENETLEYİCİ YAZILIMI	50
3.1.1. I2C Protokolü.....	51
3.1.1.1. Senkron Seri İletişim	53
3.1.1.2. Asenkron Seri İletişim	54
3.1.1.3. Seri İletişim Terimleri.....	55
3.2. BİLGİSAYAR YAZILIMI.....	57
4. GERÇEKLEŞTİRME	59
4.1. 3D PRINTER BASKI	59
4.2. ÇALIŞMA DÜZENİ VE ÖRNEK ÖLÇÜMLER.....	64
SONUÇ VE ÇIKARIMLAR	71
KAYNAKÇA	73
EKLER.....	76

SEMBOLLER

c : Işık Hızı

d : Mesafe

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1 - LiDAR, Radar ve Video Karşılaştırması [5]	6
Tablo 2 - LiDAR Çeşitlerinin Karşılaştırılması [24]	26

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1 - LiDAR Çalışma Prensibi [3]	4
Şekil 2 - LiDAR ve Radar Karşılaştırması [4]	5
Şekil 3 - Bir Otomobilde Bulunan Sensörler [6].....	7
Şekil 4 - Luminar Marka LiDAR Cihazın Bir Otomobil Üzerinden Alan Tarama Görüntüsü [6].....	7
Şekil 5 - Xioami Marka Robot Sürüpge ve Oluşturduğu Harita	8
Şekil 6 - ToF Temel Çalışma Prensibi [8]	9
Şekil 7 - Pulsed Metodu Mesafe Ölçümü [9].....	9
Şekil 8 - Continuous Wave (CW) Mesafe Ölçümü [9].....	11
Şekil 9 - Işık Spektrumu [10].....	12
Şekil 10 - Lazer Çalışma Prensibi [11]	13
Şekil 11 - Lazer iç Yapısı [12]	14
Şekil 12 - LED Tipleri [14].....	15
Şekil 13 - LED İç Yapısı [15]	16
Şekil 14 - Velodyne HDL-64E Mechanical Scanning LiDAR	19
Şekil 15 - MEMS Mirror LIDAR [17].....	20
Şekil 16 - Pioneer Marka SSL-S01 Model MEMS LIDAR.....	21
Şekil 17 - OPA LiDAR Antenlerinden Gönderilen Sinyaller [19]	22
Şekil 18 - Quanergy S3 OPA LIDAR.....	23
Şekil 19 - Scanning LiDAR ve Flash LiDAR Çalışma Diyagramı [21]	23
Şekil 20 - LeddarTech Marka Sigh Model Flash LiDAR [22].....	24
Şekil 21 - Farklı Tip LiDAR Cihazlarda Ölçüm Teknikleri [23].....	25
Şekil 22 – (a) FMCW LiDAR Modüle Edilmiş Lazer Dalgası (b) Gönderilen ve Yansıyan Işıkların Oluşturduğu Girişim [6]	28
Şekil 23 - VL53L1X Görünüş [28]	33
Şekil 24 - VL53L1X Blok Diyagramı [28]	34
Şekil 25 - Pololu VL53L1X ToF Modülü [29]	35
Şekil 26 - Devre Şeması [29]	36
Şekil 27 - VL53L1X Görüntünün SPAD Üzerinde Oluşumu [30]	36
Şekil 28 - Atmega328P TQFP Kılıfı [31]	37
Şekil 29 - CH340G SOIC Kılıf	39

Şekil 30 - CH340G Bacakları	39
Şekil 31 – TO-252 Kılıf UTT70N06 MOSFET	40
Şekil 32 - UTT70N06 MOSFET İç Yapısı	40
Şekil 33 - IR2101 MOSFET Sürücü	40
Şekil 34 - IR2101 Motor Sürme Devresi	40
Şekil 35 - Aktarıcı Kablo [32].....	41
Şekil 36 - SM351LT Manyetik Alan Sensörü [33].....	42
Şekil 37 - SM351LT İç Yapısı [33]	43
Şekil 38 - SM351LT Örnek Uygulaması [33].....	43
Şekil 39 - Ana Kart PCB Tasarımı.....	45
Şekil 40 - Ana Kart Üst Görünüş	46
Şekil 41 - ToF Kartı Şematik Tasarım	47
Şekil 42 - ToF Kartı Üstten Görünüş	48
Şekil 43 - Haberleşme Kartı Şematik Çizimi [34]	49
Şekil 44 - Haberleşme Kartı Tasarımı.....	49
Şekil 45 - Haberleşme Kartı Üstten Görünüş.....	50
Şekil 46 - Elemanların I2C Bağlantısı [35].....	51
Şekil 47 - I2C Haberleşme Protokolü [35].....	52
Şekil 48 - I2C İç Yapısı.....	53
Şekil 49 - Senkron Seri İletişim - 1 [35]	54
Şekil 50 - Senkron Seri İletişim - 2 [35]	54
Şekil 51 - Asenkron Seri İletişim [35]	55
Şekil 52 - Simplex, Half Dublex ve Full Dublex Veri İletimi [35]	56
Şekil 53 - Tarama Sonucu Elde Edilen Verinin Arayüzü	58
Şekil 54 - Alt Kutu	59
Şekil 55 - Alt Kutu Kapağı	60
Şekil 56 - Motor Sabitleme Aparatı	60
Şekil 57 – Motor Kasnağı	61
Şekil 58 - Hareketli Kısım Tabanı ve Sensör Bağlantı Aparatı	61
Şekil 59 - Hareketli Kısım Kapağı	62
Şekil 60 - LiDAR cihazın Yan Görünüşü	63
Şekil 61 - LiDAR Cihazın Üst Görünüşü	63
Şekil 62 - Tarama örneği – 1	66
Şekil 63 - Tarama örneği – 2.....	67
Şekil 64 - Tarama örneği – 3.....	68
Şekil 65 - Tarama örneği – 4.....	69
Şekil 66 - Tarama örneği – 5.....	70

KISALTMALAR

LiDAR	Light Detection and Ranging
ToF	Time-of-Flight
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
CW	Continuous Wave
NIRS	Near Infrared – Yakın Kızılötesi
MEMS	Mikroelektromekanik
OPA	Optical Phased Array
SPAD	Single Photon Avalanche Diode
FoV	Field of View
rpm	Repeat per Minute
GPS	Global Positioning System
PCB	Printed Circuit Board

GİRİŞ

Günümüz dünyasında gelişen teknoloji ile birlikte elektronik sistemler her alanda kullanılmaya başlamıştır. Mekanik veya elektrikli sistemlere nazaran basit aletlerde dahi elektronik kart bulunmaktadır. Teknolojik gelişmeler sayesinde üretim hacimleri ve maliyetler ucuzlanmış gündelik hayatta kullanılan aletler de akıllı hale gelmeye başlamıştır.

Akıllı cihazların en önemli donanımı sensörlerdir. Sensörler değişen bir durumun algılanmasını sağlayan elemanlardır. Bir elektronik cihazın otomatik olarak çalışması için o alana uygun üretilmiş bir sensöre ihtiyaç duymaktadır. Bu sayede de elektronik aletlerin kullanımının artmasıyla birlikte sensörlerin kullanım alanları da artmıştır. Bu sayede her sektöre uygun sensörlerin geliştirilmesi sağlanmıştır.

İnsan hayatının kolaylaşması için elektronik sistemler bazı görevleri otomatik olarak yapar hale gelmiştir. Bu sayede yükleni olarak nitelendirilebilecek bazı işlerin yerini bu cihazlar almaya başlamıştır. Günümüzde ise bu tip işler çoğunlukla belli başlı cihazlarla yapılmaktadır. Bu aletleri kullanan insanlar olabileceği gibi tam otonom olarak insana ihtiyaç duymadan da çalışabilmektedir.

Otonom sistemler yapay zekâ yazılımları ile birlikte belli başlı işlemleri otomatik olarak kendi karar vererek yapmaktadır. Bu tip işlemlerin yapılabilmesi için çevredeki değişimlerin algılanması ve ona göre işlemler gerçekleştirilmelidir. Otonom sistem ve robotların çalışması neredeyse tamamen sensör odaklı olarak ilerlemektedir. Bu konuda otonom robotların en önemli sensörleri ise radar, LiDAR (Light Detection and Ranging) ve ultrasonik sensörlerdir. Bu sensörler ile çevredeki alanın haritası çıkarılabilmekte, yaklaşan uzaklaşan cisimler tespit edilebilmekte ve engeller tanımlanabilmektedir. Algılama, haritalama ve mesafe ölçme işlemleri radar ve ultrasonik sensörlerle yapılırken zamanla daha gelişmiş bir cihaz olan LiDAR kullanılmaya başlamıştır.

LiDAR cihazları görünmez ışık kullanarak mesafe ölçümü yapan cihazlardır. Bu cihazlar görüş alanı içerisindeki bölgenin parçalar halinde mesafe ölçümünü yaparak görüntü elde etmektedir. Görüntü, cihaz ile hedef arasındaki mesafe verilerinden oluşmaktadır. Bu verilerin işlenmesi ise çevredeki değişimleri çokluğu ve değişim hızına bağlı olarak doğrudan LiDAR cihaz tarafından yapılabilmektedir. Otonom araçlar gibi çok sayıda sensör içeren ve bulunduğu ortamdaki değişimlerin hızlı ve çok olduğu bazı sistemlerde ise gelişen 5G teknolojisi sayesinde veriler buluta aktarılıp orada işlenmektedir.

LiDAR cihazları içerisinde bulunan lazer ile hedefe sinyali göndermekte ve yansıyan ışığı toplamaktadır. Işık kullanımı ile gece karanlığında dahi ölçümler sorunsuz devam etmektedir. Ayrıca lazer ışığının noktasal olarak çok iyi odaklanması ve yüksek güçlerde sinyal üretebilmesi radarların yerini almasını kolaylaştırmaktadır. Lakin yağmurlu ve sisli hava koşullarında ölçüm hassasiyetinin düşmesi, çamur ve kir nedeniyle ölçümün tamamen ortadan kalkmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle otomotiv sektörü gibi dış ortamlarda halen ana sensör olarak radarların kullanımı devam etmektedir.

LiDAR cihazlar ışığın gönderilmesi ile tekrar cihaza yansıması arasında geçen süre hesaplanarak mesafe bulunmaktadır. Işık hızı ve süre bilindiği için çeşitli yöntemler kullanılarak mesafe verisi elde edilmektedir. Bu yöntemlerin en çok kullanılan versiyonu ise uçuş süresi (Time-of-Flight – ToF) yöntemidir.

ToF yöntemi isminden de anlaşılacağı gibi gönderilen sinyalin geri dönmesine kadar geçen uçuş süresini hesaplamaktadır. Bu sinyaller sürekli olarak gönderileceği gibi darbe (pulse) şeklinde de gönderilebilir. Her iki sinyal gönderme biçiminin de kendi aralarında avantaj ve dezavantajları kullanıma uygun oldukları alanlar bulunmaktadır.

Bu tezde LiDAR cihazlar, çalışma prensipleri ve türleri araştırılmış ve elde edilen veriler ışığında prototip bir LiDAR cihazı üretilip tez haline getirilmiştir. İlk olarak mesafe ölçüm yöntemi olan ToF yöntemleri üzerine durulmaktadır. Hangi cihazlarda kullanıldığı ne tip sensörlerin bulunduğu ve kullanım alanları irdelenecektir.

ToF konusu açıklandıktan sonra LiDAR türleri, çalışma prensipleri, içyapıları, piyasadaki örnekleri incelenip karşılaştırmaları yapılacaktır. Birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri üzerine durup hangi tip cihazın nerede kullanıldığı açıklanacaktır. Ayrıca LiDAR ve radar cihazları kıyaslanarak hangi amaçla hangisinin kullanıldığı ve neden radarların yerini LiDAR cihazların almaya başladığı belirtilecektir. Ayrıca LiDAR cihazların hangi ortamlarda kullanımının daha uygun olduğu üzerine çıkarımlarda bulunulacaktır.

LiDAR ile alakalı tüm bu bilgiler işlendikten sonra tasarım aşamasına geçilecektir. Bu tezin amacı 2 eksenli bir LiDAR cihaz prototipi üretmektir. İlk olarak donanım tasarımı kısmında kullanılacak devre elemanları tanıtılıp şematik çizimler ve baskı devresi üzerine durulacaktır. Sistem bizim tarafımızdan tasarlanan ve üretilen elektronik kartlar vasıtasıyla çalıştırılacaktır. Daha sonrasında ise mikrodenetleyici ve bilgisayar yazılımı hakkında bilgi verilecektir.

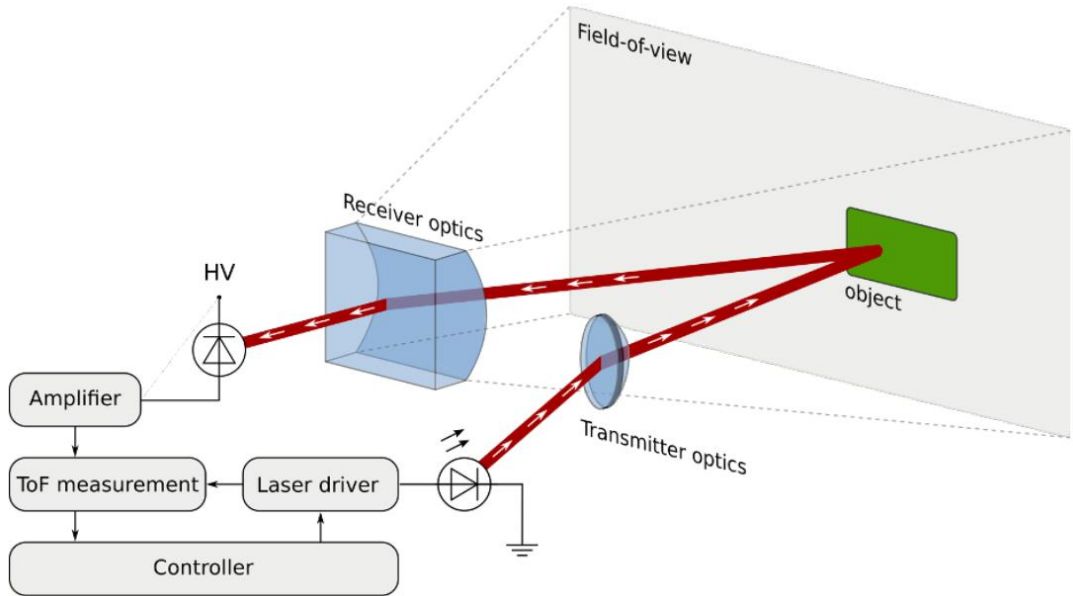
Gerçekleştirme başlığına gelindiğinde ilk olarak cihazın 3D kutu dizaynlarına ve 3D yazıcıdan çıktı olarak alınan kutuların görsellerine yer verilecektir. Devrenin de hazır hale getirilmesinin ardından devre mekanik sistem içerisine yerleştirilerek çalıştırılacaktır. Bir çalışma düzeneği belirlenip testleri yapılarak elde edilen sonuçlar paylaşılacaktır. Ardından bu sonuçların analizi yapılarak hangi kısımlarda tarama işleminin başarılı nerelerde başarısız olduğu ve nasıl bir çözüm yoluna gidileceği tezi sunulacaktır.

Sonuç ve çıkarımlar kısmında ise sistemin çıktıları incelenerek cihazın genel performans değerlendirmesi yapılacaktır. Daha sonrası için cihaz geliştirmelerinin neler olabileceği üzerine durulacaktır. Daha profesyonel bir cihaz üretimi için gerekenler daha net bir şekilde belli olacak ve ileri aşamada daha üstün performanslı bir ürün üretimi gerçekleştirilecektir.

1. LiDAR

LiDAR (Light Detection and Ranging) taranacak bölgeyi bir lazer kaynağından çıkan ışıklarla aydınlatan ve yansıyan ışıkları ölçerek hedefe olan mesafeyi ölçen cihazlardır. Temel olarak lazer kaynağı, yansıyan ışığın okunmasında kullanılan sensör ve ışığın toplanmasını sağlayan merceklerden oluşan bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. En temel amacı ise ölçümün yapıldığı nokta ile hedef cismin belirli noktaları arası mesafe ölçümüdür. Bu mesafe verileri ile cismin algılanması, 3 veya 2 boyutlu bir görüntünün oluşması sağlanmaktadır [1].

LiDAR cihazın tarihçesine bakıldığında ilk lazerin 1960 yılında ABD’de üretildiği görülmektedir. Yine 1960’lı yıllarda lazerle mesafe ölçüm örnekleri görülmektedir. Bu ölçme işlemi uçakların yerle olan mesafesi için kullanılmıştır. 1970’li yıllara gelindiğinde yeraltı ve yerüstü suların belirlenmesi, deniz ve okyanusların taban ölçülmesi amacıyla kullanılmıştır. 1980 ve 1990 yıllarında ise uçaklarda GPS ile birlikte konum tespiti amacıyla kullanılmıştır. Günümüze doğru gelindiğinde ise gelişen yarıiletken teknolojiler sayesinde endüstri, topoğrafya, otomotiv başta olmak üzere çoğu sektörde mesafe ölçümü, cisim tespiti ve alan taraması amaçlarıyla kullanılmaktadır [2].

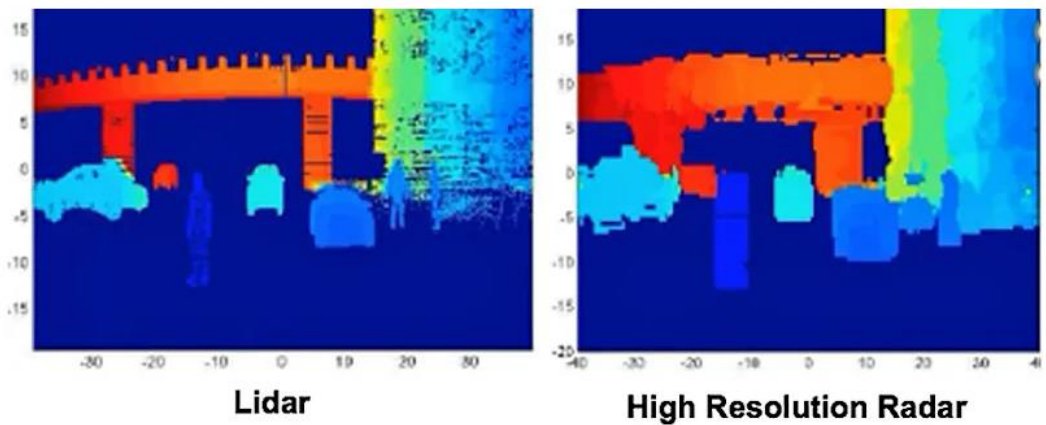


Şekil 1 - LiDAR Çalışma Prensibi [3]

Şekil 1’de görüldüğü gibi bir LiDAR cihazda temel olarak verici tarafından yayılan fotonlar görüş alanındaki nesnelere tarafından yansıtılır ve bir kısmı alıcı sensöre geri döner. Cisimden dönen tüm ışıklar için ayrı ayrı mesafe ölçümü yapılır. Elde edilen bu veriler FPGA gibi güçlü bir mikrodenetleyici tarafından işlenerek karşıdaki nesnenin mesafe verilerinden oluşan görüntüsü elde edilir [3].

Çalışma prensibini daha basit olarak anlatacak olursak, gözümüz de benzer bir şekilde çalışmaktadır. Bizim de bir cismi görebilmemiz için üzerine ışık düşmesi gerekmektedir. Işık düşen cisimden yansıyan ışıklar ise gözümüzdeki retina tarafından algılanarak cismi görmüş oluruz. LiDAR cihazlarda ise 903-1150nm gibi gözün görmediği lazer ışınları kullanılmaktadır. Cismin üzerinden saçılan lazer ışınları alıcı tarafından algılanarak ölçme işlemi gerçekleştirilir. Yalnız LiDAR cihazların farkı cismin mesafesini ölçmektir.

LiDAR cihazları, gelişen elektronik sistemlerle birlikte radarların yerlerini almaya başlamıştır. Radarların yerine çeşitli LiDAR ürünleri daha iyi çözümler sunmaktadır. Radarlar LiDAR cihazlara göre daha yüksek dalga boylu sinyaller kullanmaktadır. Bu sayede daha uzaktaki cisimlerin algılanması sağlanabilmektedir. Fakat yüksek dalga boylu sinyaller yakındaki cisimlerin çözünürlüğünün düşük olmasına neden olmaktadır.



Şekil 2 - LiDAR ve Radar Karşılaştırması [4]

Şekil 2’de bir LiDAR cihazı ile radar cihazının aynı yerden yaptığı alan tarama görüntüleri bulunmaktadır. Görüntüden de anlaşılacağı üzere LiDAR cihazların hassasiyeti ve detayları gösterme kabiliyeti daha yüksektir. [4]

Öte yandan, radar görüntülerinin çözünürlüğü kullanılan antenin boyutu ile sınırlıdır. Daha büyük boyutlu antenler daha yüksek frekanslara sahip dalgalar üretir ve daha yüksek çözünürlüklü görüntü elde ederler. Bu nedenle boyutların limitli olduğu yerlerde radar cihazları da limitli bir çözünürlük elde etmektedir. [4]

Tablo 1 - LiDAR, Radar ve Video Karşılaştırması [5]

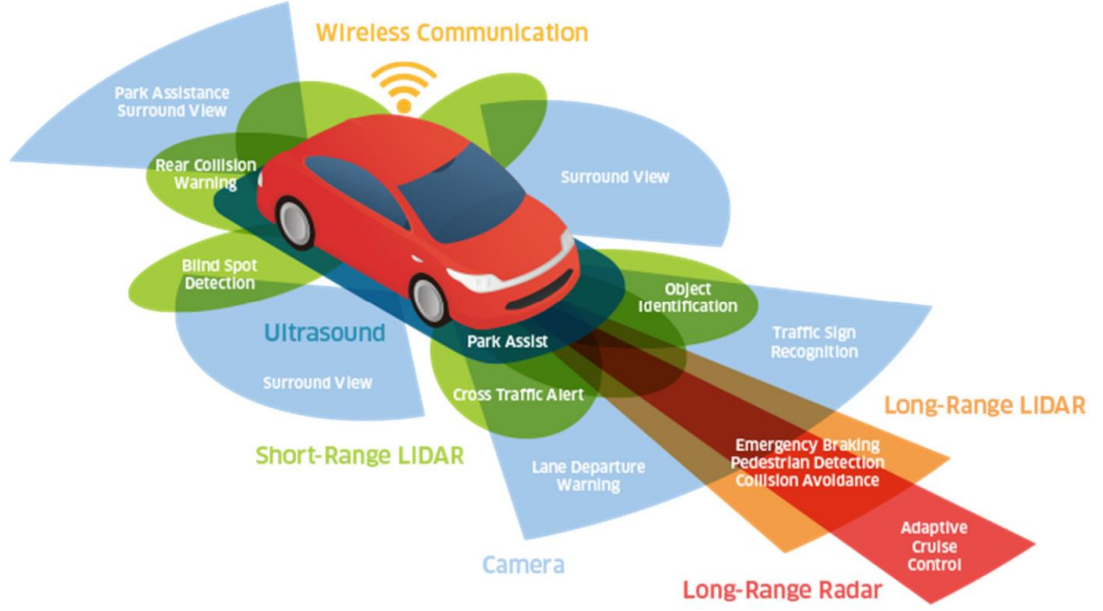
	LiDAR	Radar	Kamera
Ölçüm Mesafesi	+++	+++	-
Görüş Alanı	+++	++	+
Boyutlar	+++	-	+
3 Boyut Algılama	+++	-	-
Uzak Mesafe Cisim Tanıması	+++	-	-
Hassasiyet	+++	-	+
Yağmurlu ve Karlı Ortam Performansı	++	+++	-
Sisli Ortam Performansı	+	+++	-
Gece Performansı	+++	+++	-
Renk Okuma	-	-	+++

Tablo 1’de LiDAR, radar ve kameranın karşılaştırması görülmektedir. Tabloya genel bir gözle bakılacak olursa kameranın bu iki cihaza karşı dezavantajlarının fazla olduğu, en çok artının LiDAR’da olduğu dikkat çekmektedir.

LiDAR cihazların avantajları göz önüne alındığında görüş alanı, boyut olarak daha küçük olması, 3 boyut cisim algılaması, uzak mesafelerdeki cisimlerin tanımlanması ve hassasiyet konularında radarlara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Radarlar ise yağmurlu, karlı ortamlarda ve sisli havada daha iyi performans göstermektedir. Özellikle olumsuz hava koşullarından hiçbir şekilde etkilenmezken LiDAR’ların performansı ciddi bir şekilde etkilenmektedir. Gece performansı ve ölçüm mesafesi olarak ise birbirine eşit özelliklerde olduğu görülmektedir. Maliyet göz önüne alındığında ise radarların halen daha ekonomik bir çözüm olduğu dikkat çekmektedir.

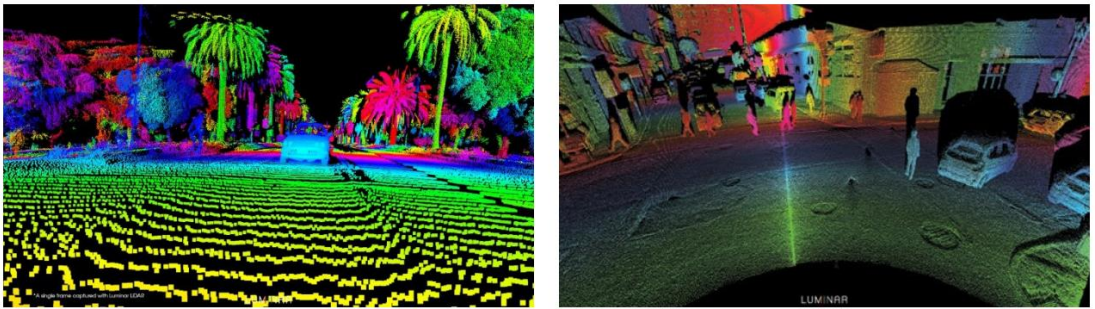
Yukarıda da anlatıldığı üzere LiDAR cihazlar pek çok açıdan radarların önüne geçmektedir. Maliyetlerinin gelişen teknoloji ve yüksek adetli üretimlerle düşmesi halinde birçok noktada radar cihazların yerine geçeceği görülmektedir. Lakin LiDAR cihazları kötü hava koşullarındaki düşük performans, birbirine çok yakın iki cisim tek cisim olarak algılama riski gibi sebeplerden dolayı otonom araçlarda halen radarlarla

birlikte kullanılmakta, radarlar halen daha güvenilir bir sensör olarak kabul edilmektedir.



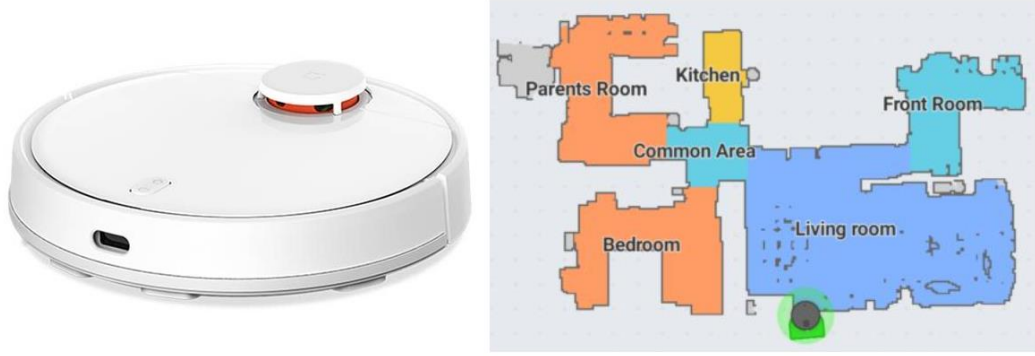
Şekil 3 - Bir Otomobilde Bulunan Sensörler [6]

Şekil 3'te bir otomobilde kullanılan sensörler gösterilmektedir. LiDAR, radar, ultrason ve kameralara iyi olduğu alanlar için aracın etrafında konumlandırılmıştır. LiDAR sensörler trafikte yaklaşan araçların algılanması ve alarm verilmesi yeri geldiğinde aracın hızının düşürülmesi amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 4 - Luminar Marka LiDAR Cihazın Bir Otomobil Üzerinden Alan Tarama Görüntüsü [6]

Şekil 4'te bir 3D LiDAR cihazının yaptığı tarama işlemi sonucu elde ettiği görüntü görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere elde edilen görüntüde insan, araç, bina ve ağaçların algılanması sağlanabilmektedir.



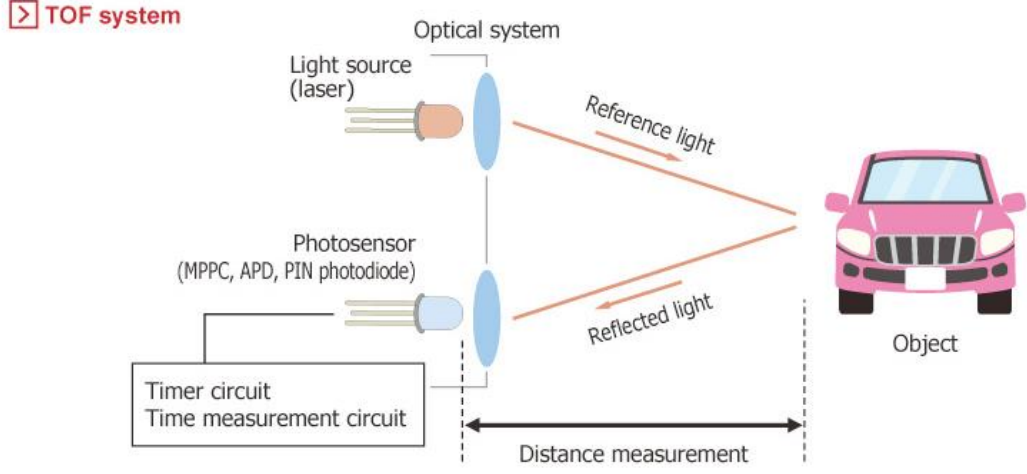
Şekil 5 - Xioami Marka Robot Sürüpge ve Oluşturduğu Harita

Şekil 5'te Xioami marka bir robot süpürge ve LiDAR ile tarama sonucu oluşturduğu harita görülmektedir. 360° noktasal bir LiDAR sensör bulunduran bu cihazlar oluşturdukları görüntüleri birleştirerek SLAM isimli bir algoritma ile haritalandırma işlemini gerçekleştirmektedir. Çevremizde en çok karşılaştığımız LiDAR cihazlardır.

1.1. TIME-OF-FLIGHT

LiDAR cihazlar, mesafe ölçme prensibi olarak çeşitli yöntemler kullanmaktadır. Bunlardan en önemlisi ise Time-of-Flight (ToF) dediğimiz uçuş süresi yöntemidir. Hedefle LiDAR arasındaki mesafe ölçümü çoğunlukla bu yöntem kullanılarak yapılmaktadır. Bu yazının ilerleyen kısımlarında LiDAR türleri içerisinde mesafe ölçüm yöntemi olarak ToF ve FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) yöntemleri üzerine durulacaktır. Bu yazı bölümünde ise sadece Time-of-Flight yöntemi anlatılacaktır.

Time-of-Flight isminden de anlaşılacağı üzere gönderilen sinyalin uçuş süresini hesaplamaktadır. Lazer kaynağından çıkan ışığın hedef cisimden yansıyıp tekrar geri dönmesine kadar geçen süre uçuş süresi olarak tanımlanmaktadır. Işığın boşluktaki hızı, fiziğin birçok alanında kullanılan önemli bir fiziksel sabittir. Genellikle c sembolüyle gösterilir. Tam değeri saniyede 299.792.458 metredir (Yaklaşık olarak 300.000 km/sn) [7]. Işık hızının sabit olduğu göz önünde bulundurulduğunda uçuş süresinin hesaplanması sayesinde kaynak ile hedef arasındaki mesafe de elde edilebilmektedir.



Şekil 6 - ToF Temel Çalışma Prensibi [8]

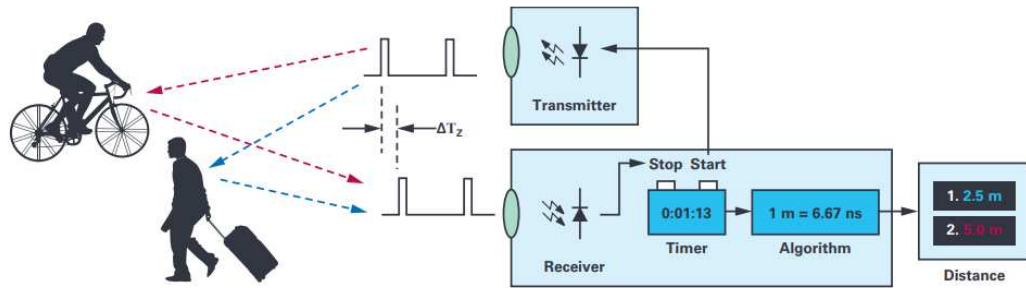
Şekil 6’da ToF temel çalışma prensibi görülmektedir. Lazer kaynaktan çıkan ışık görüş alanındaki cisimden yansyarak fotosensör tarafından algılanmaktadır. Gönderilen ve alınan sinyaller arasındaki sürenin bulunması ile mesafe bilgisine erişilmiş olur.

1.1.1. Methodlar

ToF ile mesafe ölçümünde en sık kullanılan iki metot Pulsed (pals-darbe) metodu ve Continuous Wave (Sürekli Dalga) metodudur.

1.1.1.1. Pulsed Method (Pals – Darbe Metodu)

Darbe metodu, anlık kare dalga formundaki sinyalin gönderilmesi ve yansıyan sinyalin okunması prensibine dayanmaktadır. Uzak mesafelerdeki cisimlerin ölçülmesinde daha etkili bir yöntemdir.



Şekil 7 - Pulsed Metodu Mesafe Ölçümü [9]

Şekil 7’de darbe metodu ölçüm yönteminin sinyal gönderimi ve yansıyan sinyalin ölçümü görülmektedir. Örnekte de görüleceği üzere 1m mesafenin uçuş süresi 6,67ns olarak görülmektedir. Sinyalin uçuş süresinin hesaplanmasının ardından bu süre verisi aşağıdaki formülde yerine konarak mesafe elde edilir.

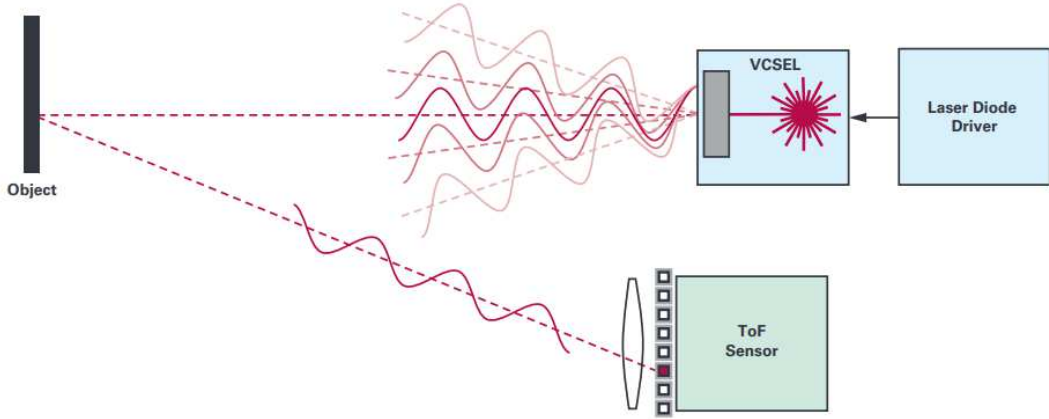
$$\text{Genel formülasyon ise şu şekildedir: } d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

Darbe metodu ölçümü kısa darbeleri güçlü lazer ışıklar kullanmaktadır. Bu güçlü ışınlar yüksek ortam ışığının bulunduğu ortamlarda kullanımı kolaylaştırdığından dış mekânlarda kullanıma daha uygundur. Ayrıca kısa darbelerin olması hareketli cisimlerin hareketinin daha kısa sürede algılanmasını sağlamaktadır. Kısa süreli iş döngüsü uzak mesafelerdeki kullanımlarda daha düşük enerji sarfiyatını da getirmektedir.

Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise gönderilen ve yansıyan sinyal darbelerinin sürelerinin aynı olması gerekmesidir. Uygulamaya bağlı olarak pikosaniye cinsinden hassas ölçümler gerekebilmektedir. Maksimum verimliliğin olması için sinyal darbelerinin çok kısa ve lazerin çok güçlü olması gerekmektedir. Bu da beraberinde anlık yüksek güçleri karşılayabilecek bir güç devresi gerektirmektedir. Ayrıca sinyalin yükselen ve düşen kenarlarındaki eğimin çok düşük (1ns’den daha kısa) olması gerekmektedir. Diğer taraftan sıcaklıkla birlikte oluşacak değişimlerin de sisteme iyi uygulanması gerekmektedir [9].

1.1.1.2. Continuous Wave Method (CW - Sürekli Dalga Metodu)

Sürekli dalga metodunda sinyal belli bir frekansı olan sinüs ya da kare dalga formunda gönderilmektedir. Gönderilen sinyal ile ölçülen sinyal arasındaki faz farkı kullanılarak mesafe ölçümü yapılmaktadır.



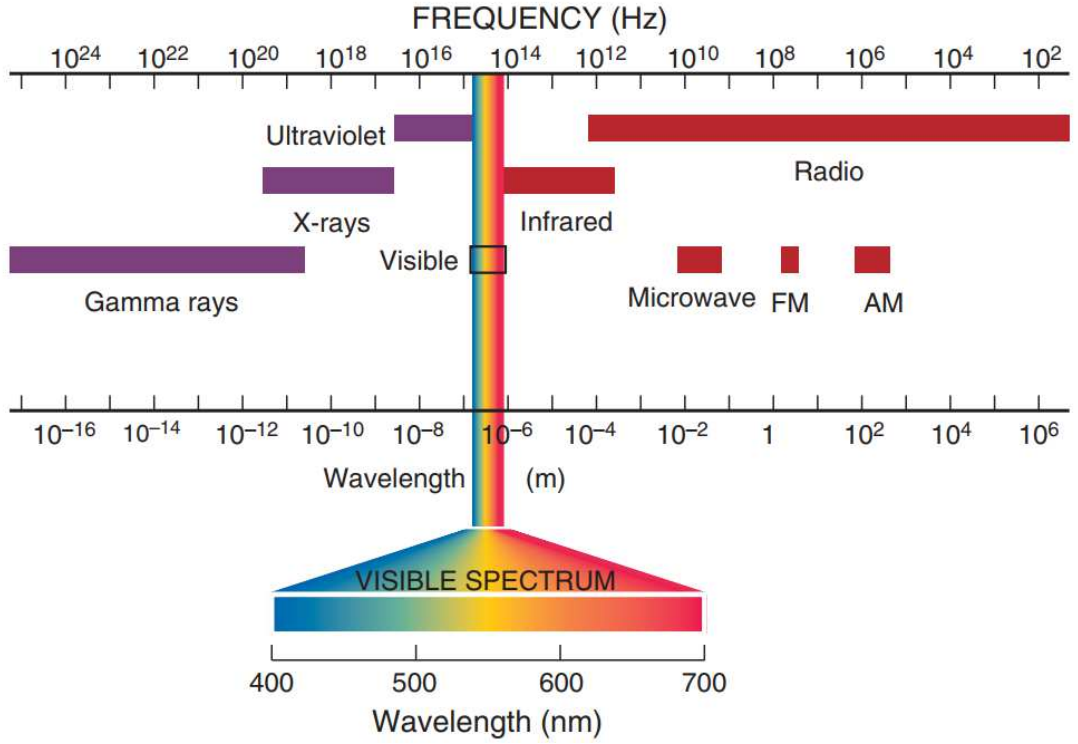
Şekil 8 - Continuous Wave (CW) Mesafe Ölçümü [9]

Şekil 8’de sürekli dalga yönteminin mesafe ölçüm prensibi görülmektedir. Gönderilen ve yansıyan sinyaller arasındaki faz farkı ile mesafe verisi elde edilmektedir. CW yöntemi yüksek hassasiyetin gerekmediği yerlerde kullanılmak için uygundur. Hassasiyetin yüksek olabilmesi için gönderilen dalgaların modülasyon frekansının da yüksek olması gerekmektedir. Daha uygulanabilir olması için birden fazla frekans modülasyonu gerekmektedir. Tercihen artan ve azalan frekansların olması hareketli cisimlerin hem hız hem de mesafe verilerinin elde edilmesinde yararlı olacaktır. Ayrıca CW metodu sıcaklıktan daha az etkilenen bir yöntemdir. Sıcaklıkla birlikte gönderilen sinyal de bir miktar kayacaktır ama yansıyan sinyalle aralarındaki faz farkı bundan daha az etkilenecek ve sürekli hata payı sabit kalacaktır.

CW ölçümünde gönderilen farklı frekanslı verilerden en az 4 örnek alınması gerekmektedir. Bu nedenle mesafe ölçümü için gereken süre daha uzundur. Bu nedenle yenileme hızı daha düşüktür. Uzak mesafelerdeki cisimlerin ölçümü için ise darbe metoduna göre daha yüksek güçlü lazer kaynağı gerekmektedir [9].

1.1.2. Sensörler

LiDAR cihazlarda kızılötesi ve lazer olmak üzere iki tip sensör kullanılmaktadır. Kızılötesi sensör genel olarak yakın mesafe giriş seviyesi LiDAR cihazlarda kullanılırken lazer daha yüksek güç ve odaklanma kabiliyeti sayesinde profesyonel LiDAR cihazlarında bulunmaktadır.



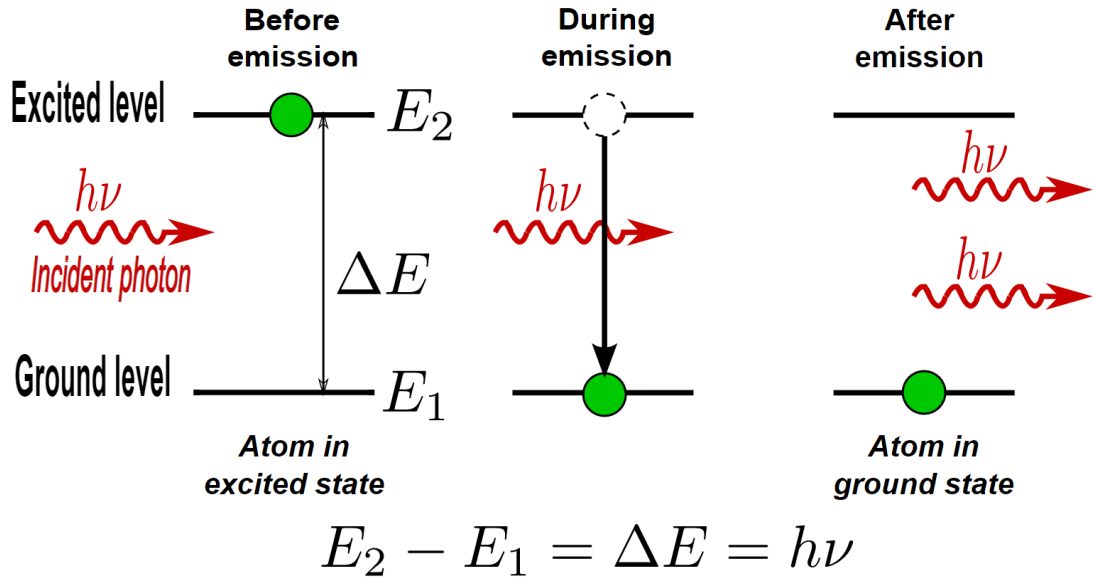
Şekil 9 - Işık Spektrumu [10]

Şekil 9'da ışığın spektrumu görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi görünür ışık tüm spektrumun sadece küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Kızılötesi ışınlar görünür ışığın hemen sağında yani dalga boyu daha büyük bir ışık olarak karşımıza çıkmaktadır. LiDAR cihazlarda Near Infrared (Yakın Kızılötesi – NIRS) denilen dalga boyu 780-2500nm olan ışıklar kullanılmaktadır. Lazer ışık ise görünür ışık da dahil olmak üzere pek çok dalga boyunda üretilen bir ışıktır. LiDAR cihazlarda ise yine yakın kızılötesi sınırları içerisindeki lazer ışıklar kullanılmaktadır.

1.1.2.1. Lazer

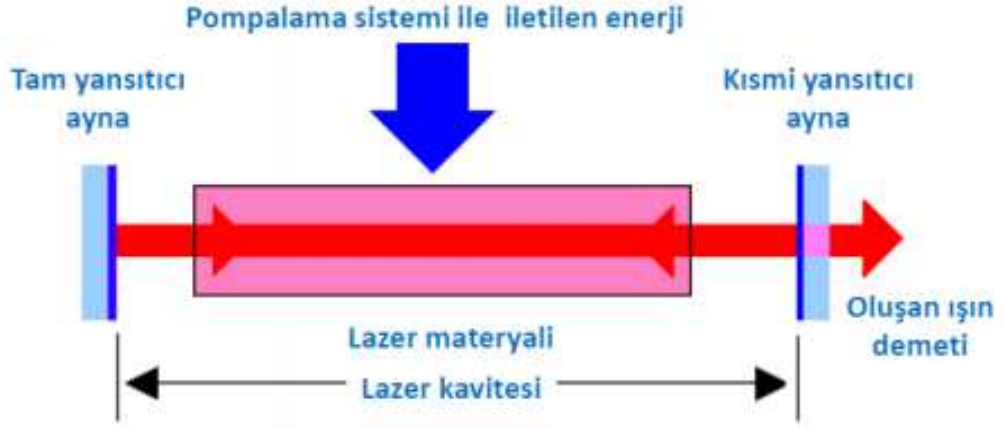
Lazer, İngilizcede “laser” (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ışığın uyarılması ile yükseltilip belli bir hedefe gönderilmesi prensibine dayanan bir ışık türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Lazerlerde ışınlar belli bir dalga boyunda, tek yönlü ve yoğun olarak kaynaktan çıkmaktadır. Lazerleri diğerlerinden ayıran en büyük özelliği lazer ışınının uyumlu (coherent) olmasıdır. Bu sayede ışınlar aynı dalga boyuna sahiptir ve çok küçük bir alana odaklanabilmektedir. Ayrıca lazerler ultra kısa darbeler (10^{-15} sn) halinde gönderilebilirler [11].

LED gibi normal ışık kaynaklarından çıkan ışınlar düzensiz bir şekilde her yönde dağılmaktadır ve içerisinde farklı dalga boylarında daha fazla ışın bulundurulur. Lazerlerin en büyük avantajı; tek yönlü olmaları, belli bir yönde çok küçük bir bölgeye yönlendirilebilmeleri ve aynı dalga boylu ışınlardan oluşmalarıdır. Ayrıca çok dar bir frekans aralıkları vardır ve normal ışıklara göre çok daha güçlüdürler.



Şekil 10 - Lazer Çalışma Prensibi [11]

Şekil 10 ve Şekil 11 lazerin çalışma prensibini gösteren iki görsel olarak karşımıza çıkmaktadır. Lazerlerin çalışma prensibi fotonların uyarılması esasına dayanmaktadır. İçerisinde bulundurduğu malzemenin uyarılması sonucu yüksek enerjili hale geçen elektronlar tekrar kararlı hale geçmek için dışarı foton salarak eski haline geri döner. Lazer sistemlerinde bu işlem tekrar tekrar yapılarak elde edilen foton miktarı artırılır.



Şekil 11 - Lazer iç Yapısı [12]

Fotonlar normalde rastgele bir yöne doğru saçılmaktadır. Fakat lazer sistemlerinde ortaya çıkan foton hali hazırda doğrusal bir şekilde hareket eden başka bir fotonun peşine takılır. Şekil 11’de bir lazer iç yapısı görülmektedir. Lazerin arka tarafında tam yansıtıcı önünde ise kısmi yansıtıcı ayna bulundurmaktadır. Kısmi yansıtıcı ayna gelen doğrusal ışınların %1’lik kısmı hedefe gönderilirken kalanı geri yansıtılır. Böylece lazer içerisinde sürekli olarak yoğun bir ışık demeti bulunur. Bu ışık demeti sayesinde yeni oluşan fotonlar da demet içerisinde katılarak yönlü ve doğrusal bir ışık hüzmesi elde edilmiş olur.

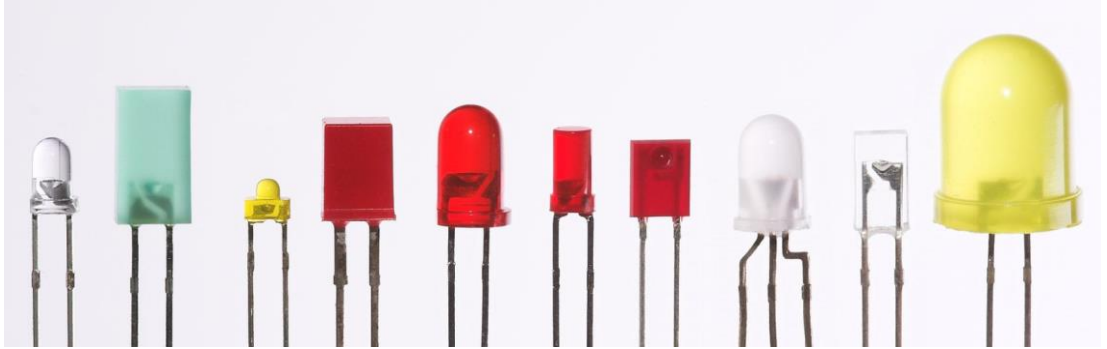
Lazerler; kazanç ortamlarına ve ışımaya türlerine göre ayrılmaktadır. Kazanç ortamlarına bakıldığında katı hal, sıvı ve gaz lazerler ile yarı iletken lazerler olarak ayrılmaktadır. Genel olarak LiDAR cihazlarda yarı iletken lazer yani lazer diyot kullanılmaktadır. Lazer diyotlar, normal diyotlarda olduğu gibi P-N eklemine sahiptir. P tipi malzemenin içerisinde bulunan boşluklara elektron enjekte edilir. Elektronların enerjilendirilmesi ile sürekli olarak bir rezonans meydana gelir. Bu da bir foton akışını ve böylece lazer ışığının oluşmasını sağlar.

Günümüzde lazerler çeşitli dalga boyu ve güçlerde üretilmektedir. Görünmez ışıkla mesafe ölçümü olarak kullanılabilirdiği gibi kırmızı renkli pointer olarak da kullanılabilir. Hatta endüstride metallerin kesilmesi amacıyla yüksek güçlü olarak üretilmektedir. Bu nedenlerden dolayı lazerler çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. LiDAR cihazlarda kullanılan lazer türü ise Sınıf-1 lazer denilen çıkış gücü en fazla 0,39mW

olan cihazlardır. Dalga boyu 600-900nm arasında değişmektedir. Düşük gücü sayesinde göz sağlığı açısından sakıncası yoktur. Bu sayede LiDAR cihazlarda bu tip gözle temas halinde zarar vermeyen lazerler kullanılmaktadır.

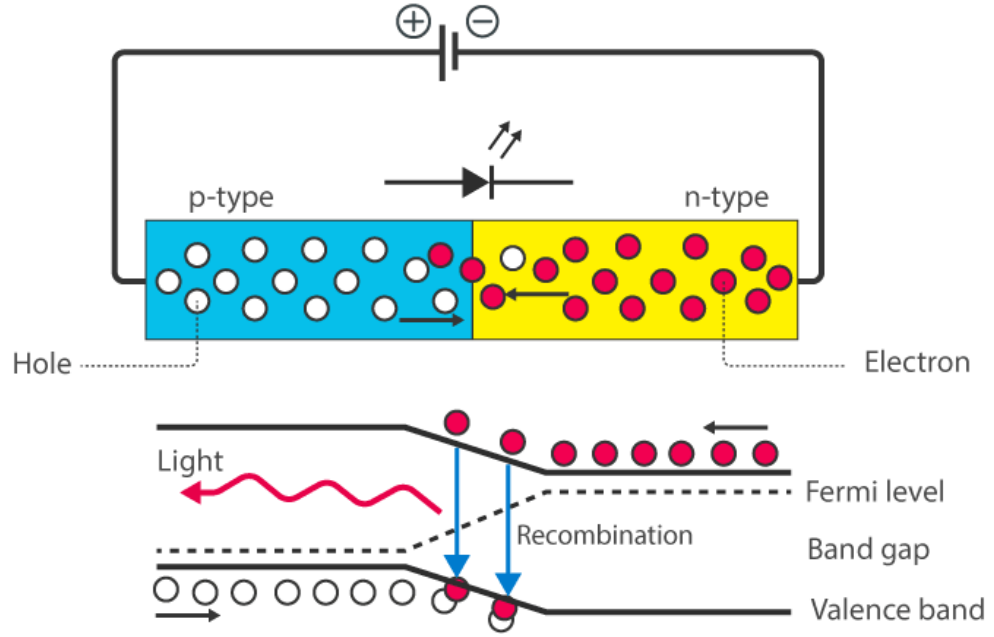
1.1.2.2. Infrared (Kızılötesi)

Kızılötesi, 750nm ile 1µm dalga boylu gözle görünmeyen ışıklardır. Güneşten gelen ışıkların yarısından fazla kızılötesi ışıklardan oluşmaktadır. Gözle görünmeyen bu ışıkların keşfi 1800 yılına dayanmaktadır. Sir Williams Herschel yaptığı test düzeninde kırmızı ışık tayfının dışında kalan bölgedeki termometrede de sıcaklık artışı fark etmiştir. Kızılötesi, vücut dokularının 1 cm derinliğine kadar nüfuz edebilir. Kızılötesi ışın, güneş, ısı lambaları, sıcak su şişeleri, buhar radyatörleri ve akkor ampulleri dâhil ısıveren hemen tüm materyallerden yayılır. Bu sayede de termal kamera dediğimiz kızılötesi algılayıcı kameralar tarafından canlıların tespiti yapılabilmektedir [13].



Şekil 12 - LED Tipleri [14]

Kızılötesi ışınım elektronlar yardımıyla oluşmaktadır. Her maddenin kendine özel enerji seviyesinde elektronları bulunmaktadır. Bu elektronlara enerji verildiğinde bir üst enerji seviyesine geçerler. Fakat kararlı durumu bozulduğu için tekrar ait olduğu enerji seviyesine düşmek isterler. Bu olay esnasında ise ortama foton denilen bir enerji salınımı yapılır. Bu fotonlar ise dalga boyuna göre kızılötesi ışınlar şeklinde olmaktadır. Bu işlem için uygun malzemeler belirlendiği zaman dalga boyu tam olarak belli olan bir kızılötesi ışın elde edilmiş olur [13]. Şekil 12'de çeşitli LED tipleri görülmektedir.



Şekil 13 - LED İç Yapısı [15]

Şekil 13'te LED diyot iç yapısı görülmektedir. P-n jonksiyonu içeren bu yapı enerji verildiği zaman iletme geçmektedir. Normal diyotlardan farklı olarak p-n malzemenin içerisine farklı bir madde eklenmesidir. Diyota enerji verilmesi durumunda eklenen malzemenin elektronları bir üst enerji seviyesine geçip sonra ait oldukları seviyeye geri dönerler. Bu işlem esnasında ise ortama fotonlar salınır ve ışık oluşur. P-n malzemenin içerisine eklenen maddeye göre ışığın rengi değişmektedir:

- Aluminium Gallium Arsenide(AlGaAs) – Kızılötesi
- Gallium Arsenic Phosphide(GaAsP) – Kırmızı – turuncu – sarı
- Aluminium Gallium Phosphide(AlGaP) – Yeşil
- Indium gallium nitride (InGaN) – Mavi - yakın UV
- Zinc Selenide(ZnSe) – Mavi

LED içerisine yerleştirilen AlGaAs malzemesi ile oluşan ışığa kızılötesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yukarıda da görüleceği üzere farklı malzemeler ile farklı dalga boylarında ışığa elde edilmektedir. LiDAR cihazlarda ise 750nm ile 1500nm arası yakın kızılötesi tercih edilmektedir. Çoğunlukla ise 900-950nm dalga boylu ışıklar kullanılır.

1.2. LiDAR TÜRLERİ

Kullanım alanlarına ve teknolojilerine göre LIDAR sensörler kendi aralarında ayrılmaktadır. Yıllar içerisinde gelişen teknoloji, kullanım alanlarının da genişlemesi ile birlikte farklı ihtiyaçları doğurmuştur. Kullanımına başlanan ilk yıllarda mesafe ölçümü için noktasal olarak kullanılan bu teknolojiler zaman içerisinde belli bir alanın taranması amacıyla endüstriyel sensör olarak, iç mekân ve topolojik haritalandırma konusunda kullanılmaktadır. Günümüzde ise uçaklarda altimetreye yardımcı bir sensör olarak, savunma sanayisinde hedefin tespiti ve mesafesinin belirlenmesi amacıyla, otomotiv sektöründe insan ve yol algılanması konusunda sensör olarak önümüze çıkmaktadır. Son teknoloji otonom araçlarda ise 360° alan taraması amacıyla kullanılmaktadır. Otonom araçlarda kullanılan 3D LIDAR cihazları ile çevredeki araçların, engellerin algılanması yapılırken aynı zamanda yayaların tespiti de yapılabilmektedir. Gelecekte ise 4K çözünürlüğe sahip LIDAR sensörler kullanılmaya başlanacak ve eş zamanlı olarak görüntü işleme algoritmaları ile bilgiler yorumlanacaktır [6].

LiDAR teknolojisi en basit haliyle Time-of-Flight LiDAR ve Coherent Frequency Modulated Continuous Wave LIDAR olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu iki türe ek olarak çeşitli varyasyonlar olsa da bu yazıda Time-of-Flight LIDAR çeşidi üzerine durulacaktır. LIDAR teknolojisi temel olarak mesafe ölçümü yapan bir cihaz olarak karşımıza çıkmaktadır. İhtiyaca yönelik olarak mesafe ölçümü için tek eksenli noktasal, alan içi haritalandırma amaçlı olarak 360° noktasal, belli bir bölgenin taraması yapılması için 3D ve otonom araçlarda olduğu gibi tüm çevrenin haritasının çıkarılması için 360° 3D alan taraması yapan modelleri bulunmaktadır [16].

1.2.1. Time-of-Flight LiDAR

Time-of-Flight(ToF) prensibi, bir kaynaktan çıkan ışığın bir nesneye çarparak yansması ve kaynağa geri dönmesi arasında geçen süreyi hesaplamaya dayanan bir yöntemdir. Taşıyıcı sinyal olarak en yaygın ses ve ışık kullanılmaktadır. Günümüzde ise su altında ses dalgaları, su üstüne ise genel olarak yüksek hız ve uzun mesafe seçenekleri sayesinde ışık sinyalleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak ise gözle görünmeyen dalga boyundaki ışıklar, daha spesifik olarak kızılötesi ışık ve lazer ışını

kullanılmaktadır. Time-of-Flight LiDAR ise bu prensibi kullanarak mesafe ölçümü ve haritalandırması yapan cihazlara verilen genel isim olarak karşımıza çıkmaktadır.

Time-of-Flight LiDAR cihazları çalışma prensibine göre Scanning ve Flash LiDAR olarak ikiye ayrılmaktadır. Scanning LiDAR'lar bir taranacak alanı kısım kısım tarayarak verileri toplamaktadır. Flash LiDAR ise fotoğraf çekme işlemi gibi bölgeyi tek seferde taramaktadır. Her iki tip ürünün de belirli kullanım alanları, birbirine göre çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

1.2.1.1. Scanning LiDAR

Scanning LiDAR, belli bir bölgenin parça parça taranması ve taranan verilerin işlemci ile işlenerek birleştirilmesi ile alan taramasının yapıldığı ürünlerdir. Scanning LiDAR cihazlar mekanik ve solid-state olarak ikiye ayrılmaktadır. Mekanik LiDAR cihazlar ölçüm işlemini 360° dönen bir başlık kullanmaktadır. Bu sayede tam çevrenin taramasını yapmaktadır. Solid-state LiDAR'lar ise içerisinde bulunan mikroeletromekanik (MEMS) aynalar ve lazer dizisi kullanarak alan taraması yapmaktadır. Bu tip ürünlerin görüş açısı ise mekanik LiDAR cihazlara göre çok daha küçüktür.

1.2.1.1.1. Mechanical Scanning LiDAR

Bu tip cihazlarda tarama alanının (FoV –Field of View) 360° olması için sensör, mekanik olarak dairesel bir şekilde döndürülmektedir. Bu tip LiDAR cihazlar sıklıkla otonom araçlarda kullanılmaktadır. En büyük avantajı 360° alan taraması yapmak olan bu cihazların en büyük dezavantajı ise hareketli parçalarının zamanla zarar görme ihtimalidir. Otonom araçlar hareket halinde iken oluşacak sarsıntılar zamanla bu cihazlarda zarara sebep olabilmektedir. Ayrıca eş zamanlı olarak hem LiDAR ile tarama yapılması hem de motor kullanılarak sensörün döndürülmesi bir işlem yüküne neden olmaktadır. Bu da işlemlerin daha hantal olmasına neden olmaktadır. Ayrıca sensörün saniyedeki tarama sayısının sınırlı olması da sensörün döndürülme hızını sınırlandırmaktadır. Hal böyle olunca da tam tur tarama süresi artmakta ve eş zamanlı veri akış hızının düşük olmasına sebebiyet vermektedir.



Şekil 14 - Velodyne HDL-64E Mechanical Scanning LiDAR

Şekil-14'te Velodyne marka Mechanical Scanning LiDAR görülmektedir. 903nm lazer ışık kullanan bu cihazın $0,08^\circ$ hassasiyetinde tarama yapmaktadır. Dönme hızı maksimum 20Hz olan bu cihaz tam tur taramayı en hızlı 50ms sürede tamamlamaktadır. Bu da verilerin en hızlı 50ms aralıklarla geldiğini göstermektedir. 8×8 'lik bir tarama alanına sahip olan bu sensörde 120m'ye kadar tarama mesafesi bulunmaktadır.

Bu tip ürünlerde dikkat çeken bir diğer dezavantaj ise maliyet konusudur. Taramanın yapıldığı sensör ve merceklerin haricinde ek olarak mekanik aksam, motor ve ekstra işlemci gücü bu ürünlerin maliyetinin artma sebeplerinden bazılarıdır. Ayrıca bu tip ürünler ekstra enerji sarfiyatına sebep olmakla birlikte güç konusunda da ekstra maliyetlere sebep olmakta, daha küçük otonom araçlarda kullanımını sınırlandırmaktadır.

Bütün bu dezavantajlar göz önüne alındığında dönen mekanik parçaların olmadığı başka çözümler öne çıkmaktadır.

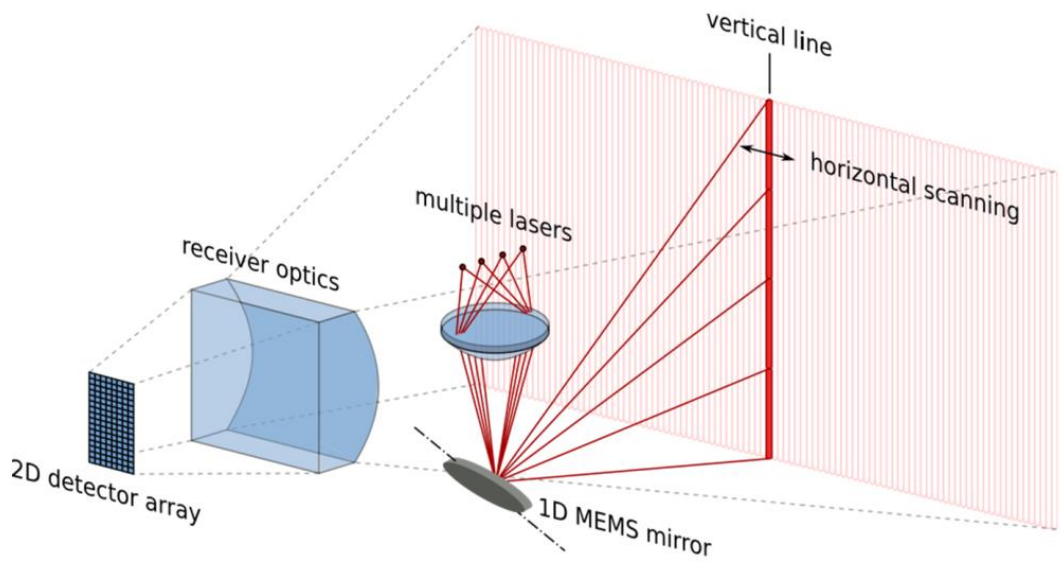
1.2.1.1.2. Solid State Scanning LiDAR

Bu tip LiDAR ürünlerinde herhangi bir hareketli mekanik parça bulunmamaktadır. Tarama işlemini ise yaygın olarak iki yöntemle çözmektedir. Mekanik parçaların olmaması hem üretim süreçlerini kolaylaştırmakta hem de

maliyeti azaltmaktadır. Aynı zamanda da tarama hızını yükseltmektedir. Sabit bir bölgeyi tarayan bu cihazlar otonom araçlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Solid State Scanning LİDAR cihazlar, Mikroelektromekanik (MEMS) Mirror LİDAR ve Optical Phase Arrays (OPA) olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. MEMS Mirror LİDAR cihazlar içerisinde barındırdığı aynalarla ışık yönlendirmesi yaparken OPA LİDAR cihazlar bir lazer dizisi kullanarak tarama yapmaktadır.

- **Microelectromechanical (MEMS) Mirror LiDAR:** Bu versiyon LiDAR ürünlerinde mercekler ve içerisinde bulunan elektromekanik aynalar kullanılarak alan taraması yapılmaktadır. Bu ürünler mekanik LiDAR cihazların aksine yatay eksende sınırlı bir bölgeyi taramaktadır.



Şekil 15 - MEMS Mirror LİDAR [17]

Şekil 15'te MEMS Scanning LiDAR'ın çalışma prensibi görülmektedir. Lazer array tarafından gönderilen sinyaller bir mercek yardımı ile MEMS ayna üzerine düşürülmektedir. MEMS aynadan çıkan ışınlar görüş alanına sütun halinde gönderilmektedir. Gönderilen ışınlar alıcı array üzerine düşürüldükten sonra MEMS ayna tekrar tetiklenerek görüş alanında bir sonraki bölgeye yönlendirilmektedir. Sırasıyla taranan bu veriler ise 2D dedektör array tarafından sırasıyla algılanmaktadır. Görüş alanı tamamen tarandıktan sonra tüm veriler birleştirilerek tam görüntü oluşmaktadır [17].

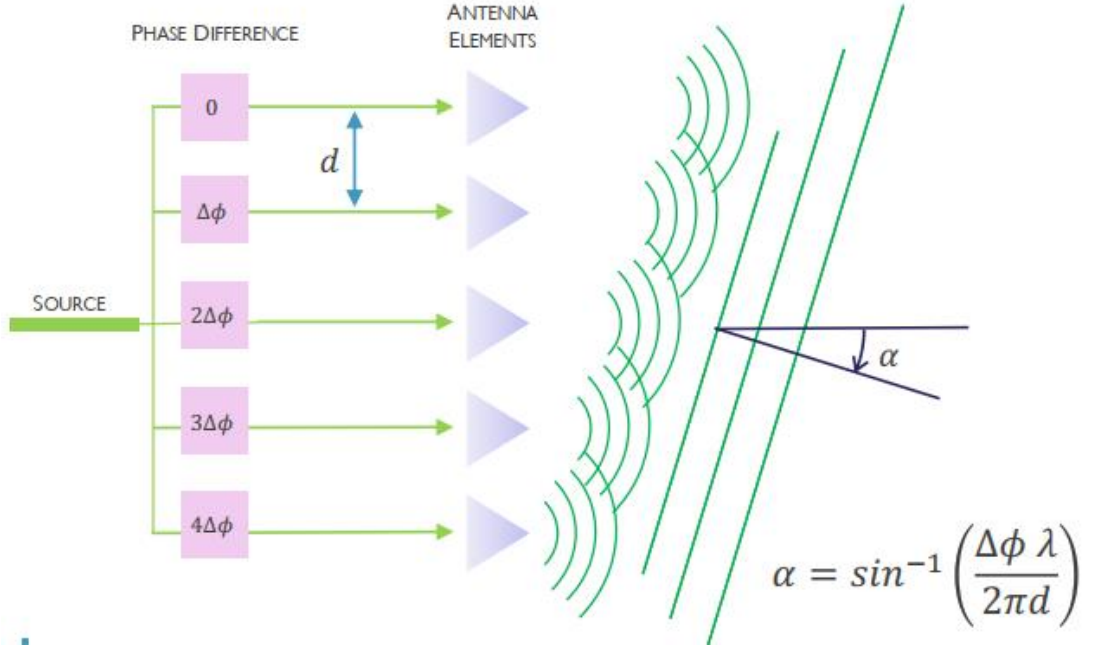


Şekil 16 - Pioneer Marka SSL-S01 Model MEMS LiDAR

MEMS LiDAR cihazları içerisinde barındırdığı MEMS aynalar sayesinde mekanik LiDAR cihazlara göre çeşitli avantajlara sahiptir. MEMS aynalar sayesinde ışık yönlendirilebilir, modüle edilebilir veya değiştirilebilir. Bu sayede mekanik LiDAR cihazlara göre daha küçük, ucuz ve daha yüksek tarama hızlarına sahiptirler. Bir MEMS LiDAR cihazda tüm parçalar sabitken sadece çapı 1-7mm aralığında olan bu aynalar hareketlidir. Bu sayede diğer LiDAR türlerine göre daha statik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle günümüzde otomotiv sektöründe sensör olarak sıkça kullanılmaktadır [17]. Şekil 16'da Pioneer marka MEMS LiDAR görülmektedir.

- **Optical Phase Arrays (OPA) LiDAR:** Optical Phased Arrays (OPA) LiDAR teknolojisinde diğer LiDAR türlerinden farklı olarak hareketli hiçbir parça bulunmamaktadır. Lazer kaynaklardan çıkan ışıklar optik anten dizisi üzerinden taranacak alana ulaştırılmaktadır. Yansıyan lazer ışınları ise yine diğer LiDAR cihazlarda olduğu gibi mercek yardımı ile toplanarak photodetector array tarafından algılanmaktadır.

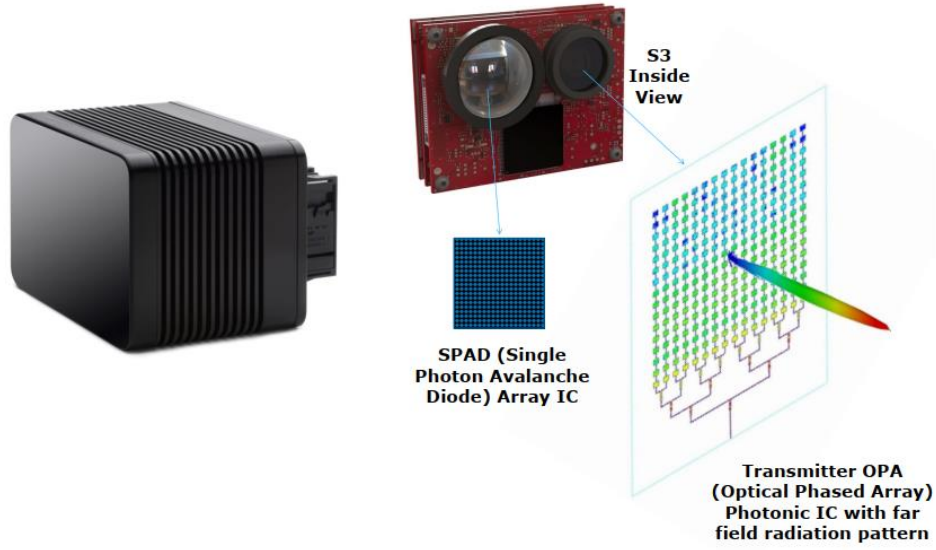
OPA tabanlı LiDAR cihazlarında antenler yaklaşık olarak 1µm aralıklarla yerleştirilmiş lazer antenler bulunmaktadır. Bu antenlerde ışığın fazı ayarlanarak yönlendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. [18]



Şekil 17 - OPA LiDAR Antenlerinden Gönderilen Sinyaller [19]

Ayarlanabilir tek lazer kaynağından çıkan lazer ışığı optik fiber hatlar bir faz modülatörüne yönlendirilmektedir. Burada ışığın fazı kaydırılarak yükseltici üzerinden array oluşturulmuş alana aktarılarak ışınlar bir hüzme halinde ayrı kanallardan gönderilir. Noktasal olarak gönderilen lazer ışıkları yansıdıktan sonra fotodiyot dizisi tarafından alınarak ölçüm işlemi gerçekleştirilmektedir [20].

Şekil 17’de faz farkı oluşturulmuş ışık demetinin yönlendirilmesi görülmektedir. Mekanik bir sisteme gerek olmaksızın tamamen statik bir şekilde yönlendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. MEMS LiDAR teknolojisine göre daha hızlı bir tarama imkânı sunmaktadır.

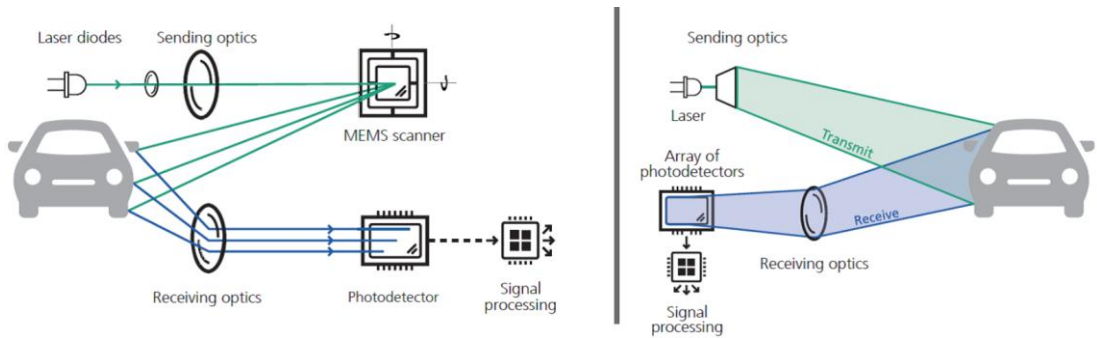


Şekil 18 - Quanergy S3 OPA LiDAR

Şekil 18’de Quanergy marka S3 model bir OPA LiDAR görülmektedir. 120° gibi geniş bir görüş açısına sahip olan cihazın 25Hz yenileme hızı ve 20m algılama mesafesine sahiptir.

1.2.1.2. Flash LiDAR

Flash LiDAR, çalışma prensibi Scanning LiDAR’lardan farklı olarak görüş alanı içerisindeki mesafe verilerini tek seferde almaktadır. Tek bir lazer kaynağından gönderilen ışınlar bir lazer aracılığıyla homojen bir şekilde hedef cisme gönderilmektedir. Hedeften yansıyan ışınlar ise yine bir mercekle odaklanıp fotodiyot dizisi üzerine düşürülmektedir. Bu işlemin ardından fotodiyot dizisinde okunan mesafe verileri bir işlemci veya sinyal işleme birimi tarafından işlenip cismin 3D görüntüsü oluşturulmaktadır.



Şekil 19 - Scanning LiDAR ve Flash LiDAR Çalışma Diyagramı [21]

Şekil 19’da MEMS LiDAR ve Flash LiDAR’ın karşılaştırılmalı mesafe ölçümü görülmektedir. Sağdaki görüntüye dikkat edilecek olursa lazer ışının bir difüzer üzerinden homojen bir şekilde gönderildiği ve yansıyan ışının da aynı şekilde geldiği dikkat çekmektedir. Bu sayededir ki görüntü tarama hızı diğer LiDAR cihaz türlerine göre çok daha hızlıdır. İçerisinde MEMS’lerde olduğu gibi mikro seviyede bile hareketli parça bulunmamaktadır. Ayrıca görüntü tek bir flaş ya da sahnede alındığı için gürültüye karşı daha bağışıklıdır. Görüntüyü bozacak hareket kaynaklı titreşimler bu cihazlarda bulunmamaktadır. Bu tip cihazlarda en büyük dezavantaj retroreflektör dediğimiz tüm ışığı aynen geri yansıtan cihazlara karşı olan zaafıdır. Bu tip bir cisme çarpan ışıklar doğrudan geri yansıtılır ve sensörü doyuma ulaştırarak kör eder. Bu cisimlerin bulunduğu ortamlarda sensör okuması yapılamamaktadır. Flash LiDAR’ların bir diğer dezavantajı ise diğer LiDAR cihazlardan farklı olarak difüzör mercek kullanımınıdır. Bu tip mercekler ışığı odaklayıp daha uzağa gitmesini sağlamak yerine yumuşatarak dağıtır. Bu da uzak mesafelerin ölçümü için gereken lazer gücünün yüksek olmasına neden olur.

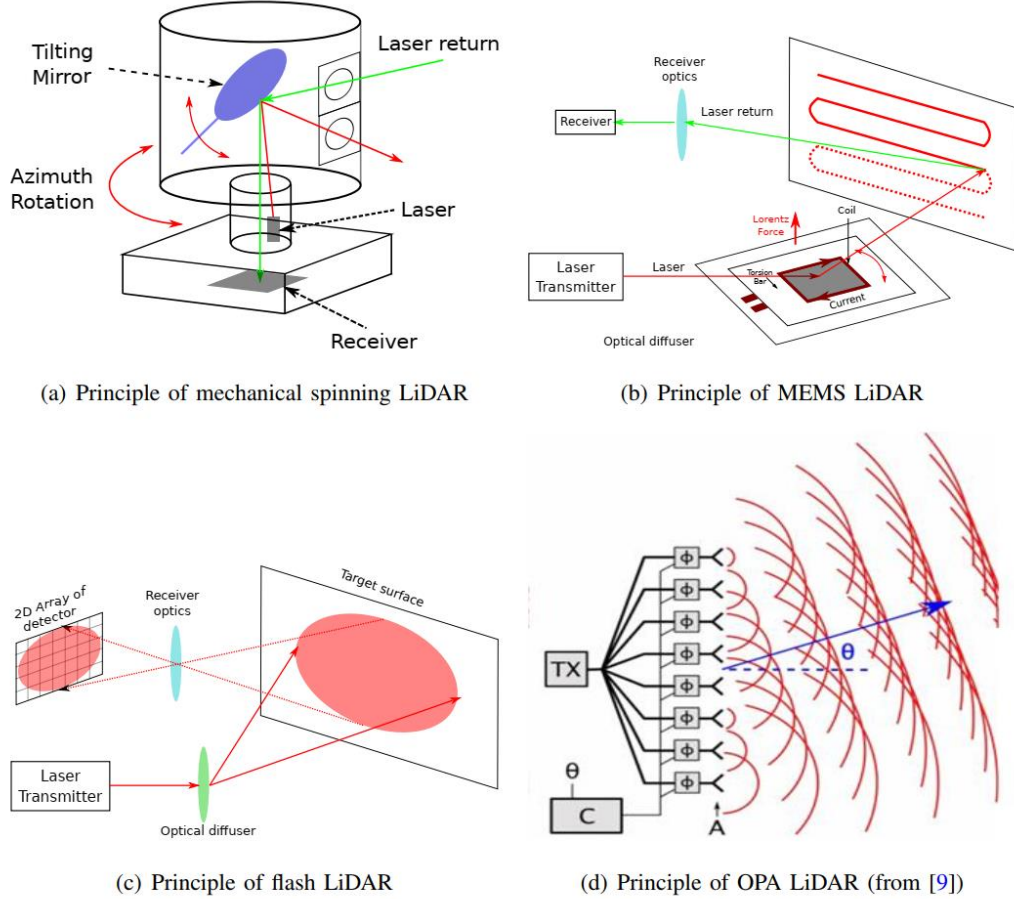


Şekil 20 - LeddarTech Marka Sigh Model Flash LiDAR [22]

Şekil 20’de LeddarTech marka Flash LiDAR görülmektedir. Bu üründe de diğer Flash LiDAR’larda görüldüğü gibi yüksek tazeleme oranı bulunmaktadır. MEMS sensörlerde 20Hz dolaylarında olan yenileme hızı bu ürünlerde 100Hz’e kadar çıkmaktadır.

1.2.1.3. Time-of-Flight LiDAR Karşılaştırması

Şu ana kadar ToF LiDAR çeşitlerinin altında 4 çeşit cihaz incelenmiştir. Bu cihazların kullanım alanlarına ve çalışma yapılarına göre aralarında çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.



Şekil 21 - Farklı Tip LiDAR Cihazlarda Ölçüm Teknikleri [23]

Şekil 21’de önceki başlıklarda incelenen 4 farklı LiDAR türünün ölçüm teknikleri görülmektedir. (a) şıkkında mekanik LiDAR görülmektedir. Lazer kaynağından çıkan ışık bir ayna ile hedefe gönderilmekte ve aynanın bir motor yardımıyla döndürülmesi ile 360° alan taraması yapılmaktadır. (b) şıkkında MEMS LiDAR cihazı bulunmaktadır. İçerisinde bulundurduğu mikroeletromekanik aynalar ile kaynaktan çıkan sinyaller hedef cismin taramasını yapmaktadır. Şekilden de anlaşılacağı üzere bu versiyonda satır satır tarama işlemi yapılmaktadır. (c) şıkkındaki flash LiDAR’da kaynaktan çıkan sinyal difüzyör ile homojen bir şekilde dağıtılarak hedefe gönderilmektedir. Yine hedeften yansıyan ışık dalgaları tek seferde alınarak

işleme konmaktadır. (d) şikkındaki OPA LiDAR’da ise herhangi bir hareketli düzenek olmaksızın optik antenler üzerinden yönlendirme yapılmaktadır. Antenlerden çıkan sinyaller sırasıyla gönderilerek aradaki faz farkı kadarlık bir açı oluşturur. Mekanik bir sistemin olmayışı tarama hızını yükseltmektedir.

ToF LiDAR ürünlerinin birbirlerine göre olan avantaj ve dezavantajları ise Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2 - LiDAR Çeşitlerinin Karşılaştırılması [24]

	Mekanik Tarama LiDAR	Flash LiDAR	MEMS LiDAR	OPA LiDAR
Tarama Hızı	Orta	Yüksek	Orta/Yüksek	Yüksek
Ölçüm Mesafesi	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Mekansal Çözünürlük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Yansıma Oranı Düşük Cisim Performansı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Yüksek Işık Altında Performans	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Boyut	Büyük	Küçük	Küçük	Çok Küçük
Yazılım Zorluğu	Orta	Kolay	Orta	Zor
Göz Güvenliği	Güvenli	Güvenli	Güvenli	Güvenli
Kötü Hava Şartlarında Performans	Orta	Orta	Orta	Orta
Bakım Kolaylığı	Zor	Kolay	Kolay	Orta
Maliyet	Çok Yüksek	Orta	Orta	Düşük

Mekanik Tarama LiDAR ürünü diğer ürünlerden farklı olarak 360° alan taraması yapan bir cihaz olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer modellerde görüş açısı limitlidir ve sadece cihazın baktığı alanın ölçümü yapılabilmektedir. Bu modelin diğerlerinden en büyük farkı ise içerisindeki aynanın bir motorla döndürülmesi sebebiyle sistemin hem büyük hem de maliyetli olmasıdır. Aynı zamanda hareketli cihazlarda kullanımı da bu hantal ve hareketli yapısı sebebiyle daha zordur ve bakımı

da diğerk türlere nazaran daha zahmetlidir. Yine aynı sebeplerden dolayı güç tüketimi de yüksek olması nedeniyle her cihazda kullanımı da mümkün değildir. Genel olarak otonom araç ve robotların bulunduğu mekânın haritalandırması amacıyla kullanılmaktadır.

MEMS LiDAR cihazlara gelindiğinde yine içerisinde mekanik olarak hareketli aynalar bulunmaktadır. Fakat farklı olarak çok daha küçük aynalar ve çok daha düşük açılarda hareket mevcuttur. Bu da mekanik tarama LiDAR cihazlara göre harekete karşı daha bağışıklı ve statik bir yapıya sahip olmasını sağlamaktadır. Ayrıca küçük aynaların sınırlı hareketi olması beraberinde düşük güç tüketimini de getirmektedir. Aynı zamanda küçük hareketlerin olması tarama hızının da daha yüksek olmasını sağlamakla birlikte daha küçük bir alana sığmaktadır. Maliyet olarak ise mekanik tarama LiDAR cihazlara nazaran daha düşük ve bakımı daha kolaydır. Genel olarak endüstride insan ve engellerin algılanması amacıyla, otomotivde araçların ön kısmında engel mesafesinin tayini ve adaptif hız kontrolü amacıyla kullanılmaktadır.

OPA LiDAR cihazlar tarama işlemini mekanik bir sisteme ihtiyaç duymadan yapmaktadırlar. Bu da beraberinde ekstra statik bir yapı getirmektedir. Hareketli cihazlarda kullanım açısından çok ideal bir cihazdır. Ayrıca içerisinde hareketli ayna olmadığı için tarama kaynaklı hiçbir titreşim ve gürültü oluşmamaktadır. Tüm bu şartlar altında boyut olarak en küçük LiDAR cihazlar bunlardır. Lakin hem üretimi yüksek teknoloji gerektirmekte hem de yazılım yükü yüksek cihazlardır. Yüksek üretim adetlerinde maliyeti en düşük LiDAR cihazlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Endüstride engel ve insan tanıma amaçlı kullanılmaktadır. Genel olarak endüstride insan ve engellerin algılanması amacıyla, otomotivde araçların ön kısmında engel mesafesinin tayini ve adaptif hız kontrolü amacıyla kullanılmaktadır.

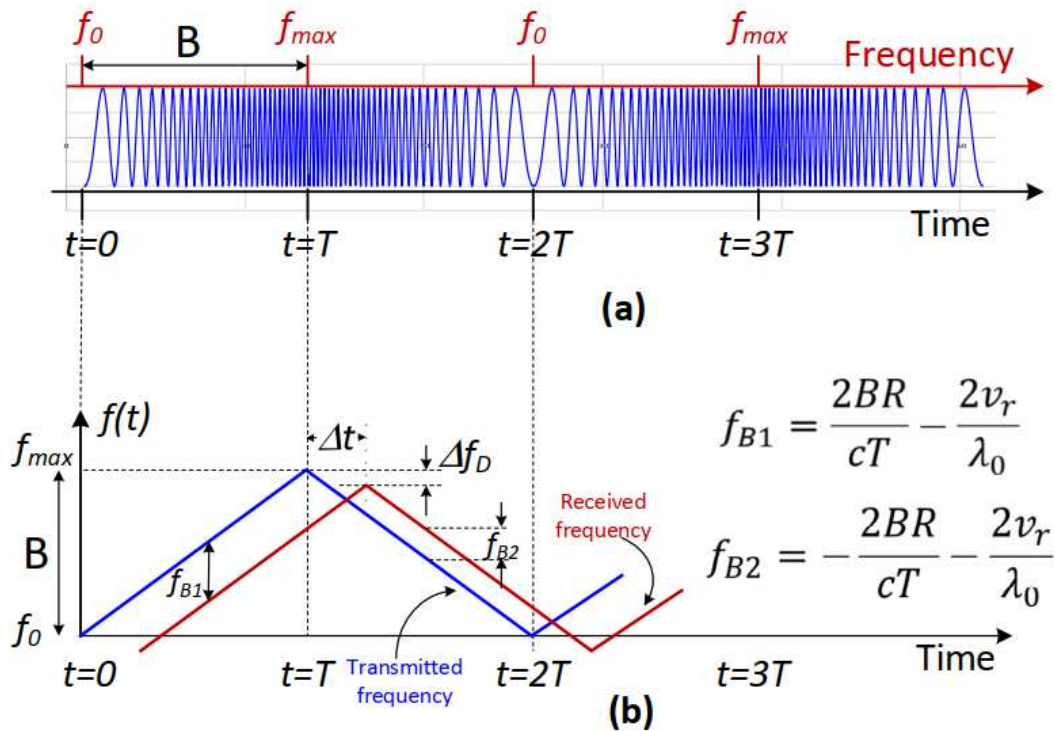
Flash LiDAR cihazları tarama işlemi olmadan çalışan, mekânın ölçümlerini tek seferde yapan cihazlardır. Odaklayıcı mercekler yerine lazer ışığı yayan difüzör mercekler kullanılmaktadır. Bu nedenle ölçüm mesafesi ve mekânsal çözünürlüğü düşük cihazlardır. Ayrıca yansıma oranı düşük cisimlerde performansı diğerlerine göre daha düşüktür. Ayna gibi ışığı doğrudan yansıtan cisimlerde ise yansıyan ışık sensörü direk kör ettiği için kullanılamamaktadır. Bu ürünler LiDAR kamera olarak topoğrafya

ölçümü, uçak ve insansız hava araçlarında ve üç boyutlu modelleme işlerinde kullanılmaktadır [25].

1.2.2. Coherent Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) LiDAR

FMCW LiDAR, şu ana kadar anlatılan ToF LiDAR türlerinden farklı olarak kısa ışık darbeleri yerine frekans modülasyonlu 1550nm lazer ışını kullanmaktadır. Yansıyan sinyallerin (chirped olarak da adlandırılan) faz ve frekansının ölçülmesi ile hem mesafe hem de hareketli cismin hızı ölçülmüş olur. FMCW yönteminde hesaplama yükü ve optik işlemler daha basitken bu yapının bir çip içerisine yerleştirilmesi ve üretimi daha zordur [16].

FMCW LiDAR cihazların çalışma prensibi FMCW Radar cihazları ile aynı mantığa dayanmaktadır. Her iki cihazda da modüle edilmiş frekanslı taşıyıcılar kullanılmaktadır. LiDAR cihazlarda lazer kullanılırken radarlarda 77-81GHz frekans aralığında elektromanyetik dalgalar kullanılmaktadır.



Şekil 22 – (a) FMCW LiDAR Modüle Edilmiş Lazer Dalgası (b) Gönderilen ve Yansıyan Işınlardan Oluşturduğu Girişim [6]

Şekil 22’de FCMW LiDAR ile yapılan ölçüm işleminin dalga formu görülmektedir. Bu yöntemde f_0 ve f_{max} aralığında frekansı sürekli olarak artan ve

azalan bir lazer ışın dalgası hedefe gönderilmektedir. Gönderilen lazer ışık ile yansıyan ışığın frekans farkı hem cismin uzaklık verisini hem de hız verisini vermektedir. Karmaşık ve yüklü bir işlem gücü gerektiren bir LiDAR türüdür. En büyük avantajı da hem hız hem de uzaklık verisinin aynı anda elde edilebilmesidir. Ayrıca frekans modüleli sinyal kullanıldığı için güneş ışığı ve diğer LiDAR sensörlerin yaydığı ışıklara daha bağımsızdır. Dezavantajlarına bakıldığında ise hem mesafe hem de hız verilerinin bulunduğu 3D veri kümesinin işlenmesi çok fazla işlem yükü gerektirmektedir. Ayrıca lazer kaynağının da bu frekans değişimine ayak uydurabilir bir yapıda olmalıdır. Şekil 22'un b kısmındaki frekans rampasının doğrusal bir şekilde verilebilmesi gerekmektedir. Bu nedenle genel olarak DBR diyot, fiber lazer ve solid state lazerler kullanılmaktadır [6].

Otomotiv sektörü için LiDAR cihazlar üreten firmalardan Blackmore of Bozeman çip düzeyinde bu işlemleri gerçekleştirmektedir. İddia edilen verilere bakıldığında 450m ve üzerinde anlık hız ve mesafe verisinin alınabildiği bildirilmektedir. Ayrıca 150m/s'ye kadar olan hızın 0,1m/s hassasiyetle ölçülebildiği söylenmektedir. Diğer taraftan saniyede 2.400.000 noktanın ölçülebildiği iddia edilmektedir. Bu veriler göz önüne alındığında FMCW LiDAR cihazları ileride otomotiv sektöründe çok daha fazla kullanılacağı görülmektedir [26].

1.3. KULLANIM ALANLARI

LiDAR'ların kullanım alanları her geçen gün daha da artmaktadır. Bu başlık altında günümüzde nerelerde kullanıldığı hangi tip LiDAR cihazların kullanıldığı üzerine durulmaktadır. Başlıca kullanım alanları ise şu şekildedir:

- Otonom araçlar: LiDAR cihazların belki de kitlesel olarak en bilineni 360° tarama yapan mekanik tarama LiDAR cihazlardır. Otomobillerin tam çevresinin taramasının yapıldığı bu cihazlar otonom araçların gözü kulağıdır. Bu LiDAR cihazlar sayesinde çevrede olup biten her şeyin algılanması ve tanımlanması sağlanır.
- Tarım: LiDAR bir arazinin 3 boyutlu haritasının çıkarılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu haritanın eğim bilgisi vermesi sayesinde dikme ve sulama işlemleri için bir plan oluşturulabilmektedir.

- Arkeoloji: LiDAR, arkeoloji kazılarında keşfedilen tarihi eserlerin taranmasında ve dijital ortama aktarılmasında kullanılmaktadır.
- Şehir Planlama: LiDAR cihazlar kullanılarak şehirlerin tam haritası çıkarılmaktadır. Bu sayede şehir planlaması da daha kolay bir şekilde icra edilebilmektedir.
- Otomotiv Sektörü: LiDAR cihazları otomobillerde ön, arka ve yanlardaki araçlarla ya da engellerle olan mesafenin ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Adaptive Cruise Control gibi öndeki araçla olan mesafenin korunması gibi özellikler yine LiDAR cihazlar ile sağlanmaktadır.
- Uçaklar: Uçakların altında LiDAR tarayıcılar bulunmaktadır. Bu cihazlar sayesinde sürekli olarak uçağın yerle olan mesafesi ölçülmekte, uçağın geçtiği yerin taraması yapılmaktadır. Ayrıca GPS ile birlikte uçağın konumu net olarak belirlenmektedir.
- İnsansız Hava Araçları: İnsansız hava araçlarında iniş, kalkış ve havada sabit kalma sırasında bu sensörler kullanılmaktadır. Ayrıca kumandasız kullanma durumlarında insansız hava aracına yüklenen topolojik harita LiDAR cihazı ile doğrulanarak kendi kendine hedefe gitmesi sağlanmaktadır.
- Üretim Endüstrisi: Robot kollar gibi hareketli sistemlerin olduğu fabrika ortamlarında alanın taranması ve güvenlik amacıyla kullanılmaktadır. Robotların insanlara, engellere veya birbirine çarpmalarının önüne geçildiği gibi hareketlerinin de doğrulanması yine bu cihazlar sayesinde yapılmaktadır.
- Robot Süpürgeler: Günümüzde belki de en ünlü kullanım yeri robot süpürgelerdir. 360°'lik alanı noktasal olarak tarayan bu cihazlar tüm evin haritasını çıkararak kendi kendine evin içerisinde hareket edebilmektedir.
- Astronomi: NASA, LiDAR teknolojisini Mars'ın keşfedilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Gezegenin topolojik haritasının çıkarılması ve kar yağışı gibi olayların incelenmesini bu cihazlarla sağlamaktadır.
- İklim değişikliği: İklim bilimcileri, atmosferdeki değişiklikleri incelemek ve izlemek için LiDAR'ı kullanır. Almanya'daki araştırmacılar, atmosferik gazları

izleyebilen ve hatta uzaydan kullanılabilen havadan bir LiDAR sistemi geliştirmiştir. Botanikçiler, ormanlık alanlarda yapılan değişiklikleri izlemek için kullanılmaktadırlar. LiDAR ayrıca zaman içinde buzuldaki değişiklikleri hesaplamak için kullanılır [27].

- Petrol ve gaz araştırması: LiDAR cihazları diğer teknolojilerden daha kısa bir dalga boyuna sahip olduğundan, atmosferdeki küçük molekülleri tespit edebilir. Diferansiyel Absorpsiyon LiDAR denilen yeni teknoloji, yağ ve gaz birikintilerinin izlenmesine yardımcı olmaktadır.

2. DONANIM TASARIMI

Bu kısımda ürün haline gelen projenin donanım ekipmanları, şematik çizimler, devrenin PCB tasarımları, elektronik kart resimleri ve yazılımla ilgili detaylar bulunmaktadır. Proje 360° alan taraması yapmak amacıyla en temelde sabit ve hareketli kısım olarak 2 parçadan oluşmaktadır. Sistemin kontrol tarafına gelinecek olursa elektronik sistem 3 farklı karttan oluşmaktadır.

Tasarım başlığı altında ilk olarak devrelerde kullanılacak olan donanım ekipmanları anlatılacaktır. Devredeki önemli olarak görülen bu donanımların marka modelleri, çalışma gerilimleri, kılıfları, devre şemaları ve çalışma prensipleri üzerine durulacaktır.

Yazının devamında sistemi oluşturan 3 elektronik kartın devre şemaları ve PCB baskı devrelerine de yer verilerek açıklaması yapılacaktır. Bu kartların sistemdeki görevleri, besleme gerilimleri, bağlantı bacakları gibi verilere yer verilecektir.

Sonraki aşamada ortaya çıkan ürünün 3D yazıcı baskıları ve kutu tasarımı üzerine durulacaktır. Sistem dışarıdan bakıldığı zaman hareketli ve sabit olmak üzere 2 ana parça ve içerisinde çeşitli küçük parçalardan oluşmaktadır. Bu çizimlerin SolidWorks görselleri ile 3D yazıcı çıktılarının fotoğrafları eklenecektir.

Bu bölümdeki son kısımda ise sistemin yazılımları olacaktır. Sistemde gömülü yazılım ve bilgisayar yazılımı olmak üzere iki yazılımı bulunmaktadır ve bu iki yazılım birbiri ile haberleşme halindedir. Burada yazılımların mantığı, akış şemaları ve bilgisayar yazılımının ara yüzüne yer verilecektir. Mikrodenetleyici yazılımı Arduino IDE, bilgisayar yazılımı da C# ile yazılacaktır.

2.1. KULLANILACAK DONANIM EKİPMANLARI

2.1.1. VL53L1X

VL53L1X 4m mesafeye kadar çalışabilen bir ToF entegresi olarak karşımıza çıkmaktadır. İçerisinde lazer, fotodiyot ve mercekler dahil olmak üzere mesafe ölçümü için lazım olabilecek her şeyi barındıran kompakt bir yapıya sahiptir. Şekil 23'te sensörün dış görünüşü görülmektedir.



Şekil 23 - VL53L1X Görünüş [28]

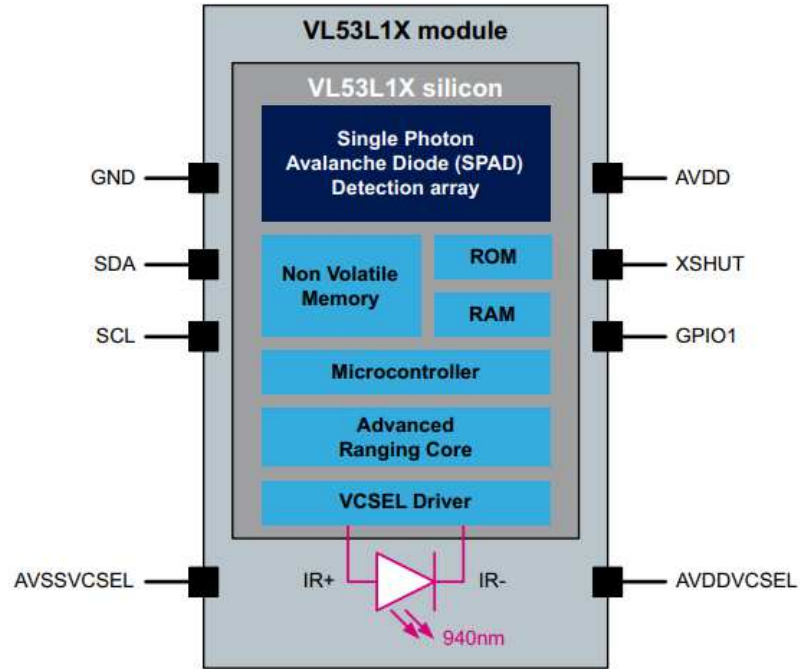
Sensörün özellikleri ise şu şekildedir:

- Işık kaynağı olarak 940nm lazer (Sınıf 1) kullanılmaktadır.
- Yansıyan ışığın algılanması için 16x16 (toplam 256) SPAD(single photon avalanche diode) dediğimiz bir diyot dizisi barındırmaktadır. Bu sayede algılanacak olan alan 256 farklı parçaya bölünebilmektedir. İstenirse 2x2'ye kadar düşürülebilmektedir.
- Ölçüm mesafesi en fazla 4m'dir.
- Saniyede 50 ölçüm yapabilmektedir. Ayrıca ölçüm sayısı yazılımsal olarak düşürülebilir.
- FoV (görüş alanı) 15°-27° arasında seçilebilir olarak karşımıza çıkmaktadır.
- 2,6-3,5V arası DC gerilimle çalışmaktadır.
- Haberleşme olarak I2C desteklemektedir.

Sensörün kullanım alanları ise:

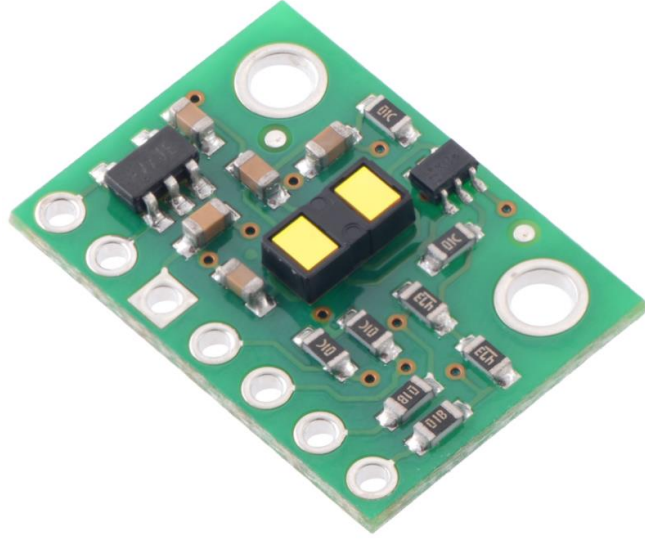
- Kullanıcı tanıma: Bilgisayar gibi kişisel cihazların kitlenmesi kilidinin açılması gibi işlemler bu sensör kullanılarak yapılabilmektedir. 16x16 piksellik tarama ile yüz tanıma yapılabilmektedir.

- Robot süpürge ve servis robotları: Haritalandırma ve engel tanıma amacıyla kullanılmaktadır.
- Drone: Kalkış ve iniş asistanı, havada sabit durma gibi özellikler için bu tip sensörler kullanılmaktadır. Hava aracının altına yerleştirilen sensör eş zamanlı olarak zeminle olan mesafesini ölçmektedir.
- Akıllı raflar ve otomat makineleri: Bu tip cihazlarda ürünler istifli olarak durmaktadır. Düzenli bir mesafe ölçümü ile kalan ürün sayısı bulunabilmektedir.
- Akıllı ev ve ışıklandırma: İnsan tespiti yapılarak akıllı evlerde çeşitli senaryolar gerçekleştirilebilmektedir.
- 1D gesture kontrol: El hareketlerinin algılanması ile çeşitli görevler yerine getirilebilmektedir.
- Akıllı telefonlar: Kameranın yanında bulunan ToF sensörü sayesinde mesafe ölçümü yapılarak otomatik odaklanma işlemi daha işlevsel olmaktadır.



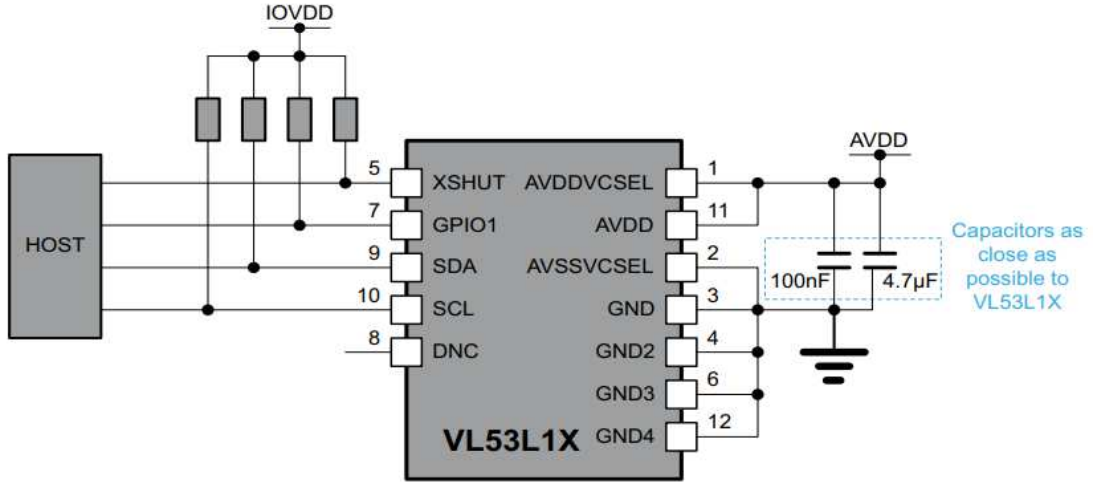
Şekil 24 - VL53L1X Blok Diyagramı [28]

Şekil 24'te sensörün iç yapısı görülmektedir. Silikon kılıf içerisinde işlemci, RAM, ROM, mesafe işleme birimi, SPAD ışık algılama birimi ve lazer sürücü bulunmaktadır. Lazer LED ise silikon kılıfın dışına konumlandırılmıştır. Tüm bu birimler ise bir modül ve plastik kılıfla beraber yekpare bir hale getirilmiştir. Blok diyagramında görülmeyen mercekler ise yine silikon kılıfın dışında ama en dıştaki plastik kılıfın içerisinde bulunmaktadır. Harici bir merceğe gerek bulunmamaktadır.



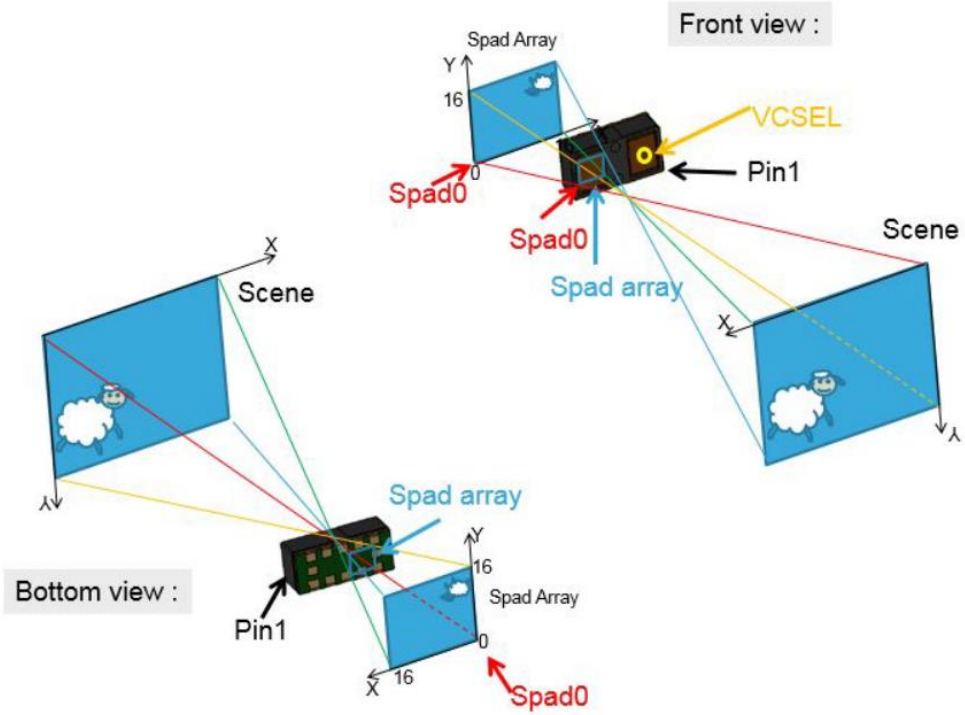
Şekil 25 - Pololu VL53L1X ToF Modülü [29]

Şekil 25'te Pololu firmasının ürettiği VL53L1X sensör modülü görülmektedir. Modül üzerinde regülatör ve mikrodenetleyici ile sorunsuz çalışması için gerilim dönüştürücü bulunmaktadır. Regülatör 5V'luk girişi 2,8V'a indirerek sensörün çalışacağı gerilime düşürmektedir. Sensör 2,8V ile, harici mikrodenetleyici ise 5V ile çalışmaktadır. Bu iki elektronik birimin haberleşmede sıkıntılarının olmaması için birbirleri arasında voltajın dönüştürülmesi gerekmektedir. Sensörün haberleşme bacaklarından çıkan 2,8V dalgalar mikrodenetleyiciye 5V olarak geçmektedir. Yine aynı şekilde mikrodenetleyiciden çıkan 5V dalgalar sensör tarafı için 2,8V'a düşürülmektedir.



Şekil 26 - Devre Şeması [29]

Şekil 26'da ürünün kullanım kılavuzundaki şematik tasarımı görülmektedir. Tek besleme kaynağı kullanılmaktadır. Haberleşme bacaklarında ise pull-up bağlantıları bulunması gerekmektedir. Besleme hattında ise iki adet kondansatör kullanılması gerekmekte ve bu kondansatörlerin imkân olduğunca entegreye yakın olması gerekmektedir.

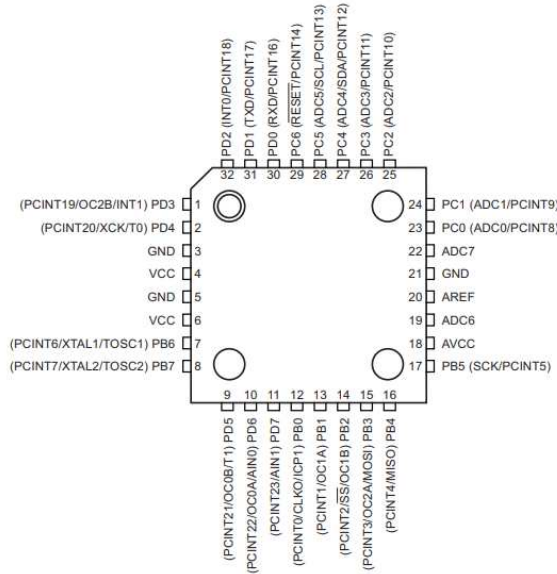


Şekil 27 - VL53L1X Görüntünün SPAD Üzerinde Oluşumu [30]

Şekil 27’de görüş alanındaki sahne ve içerideki SPAD dizisindeki yansıması görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi elde edilen veri hem X hem de Y eksenin aynalanmış olarak oluşmaktadır. Buradaki en önemli husus sensör kalibrasyonunun iyi yapılması ve SPAD dizisinin merkez koordinatlarının tam olarak belirlenmesidir. Aksi halde yapılan hesaplama sonucunda görüntü yanlış yerde oluşacaktır.

2.1.2. Mikrodenetleyici

Mikrodenetleyiciler içerisinde RAM, ROM ve işlemci barındıran mini bilgisayarlardır. İçerisinde dijital ve analog giriş çıkışlarla beraber PWM, UART, SPI, I2C ve CAN gibi birçok birimi barındırmaktadır. Kompakt bir yapıya sahip olan bu mikrodenetleyiciler küçük boyutları ve düşük maliyetleri ile birçok sektörde kullanılır hale gelmiştir. Bu projede kullanılmak üzere Atmega328P mikrodenetleyicisi belirlenmiştir. Bu denetleyicide karar kılınmasının en büyük sebebi Arduino derleyicisi ile uyumlu olmasıdır. Günümüzdeki elektronik geliştiricilerin ortak noktası olan Arduino IDE ile hem üretici firmaların örnek uygulamalarına hem de dünyanın birçok yerindeki geliştiricilerin yazılımlarına ulaşmak mümkündür. Ayrıca karşılaşılabilecek hataların çözümlerine bu platformlar aracılığı ile daha kolay ulaşılabilir.



Şekil 28 - Atmega328P TQFP Kılıfı [31]

Şekil 28’de Atmega328P TQFP kılıfı görülmektedir. Arduino UNO gibi platformlarda da kullanılan bu mikrodenetleyicinin özellikleri ise şu şekildedir:

- Gelişmiş RISC mimarisi
- 23 adet programlanabilir I/O bacakları
- 2,7-5,5V çalışma gerilimi
- Çalışma akımı: 1,5mA @3V , Uyku akımı: 1uA @3V
- 32x8 genel kullanıma uygun register
- 16MHz dahili osilatör
- 32kB flash hafıza
- 1kB EEPROM hafıza
- 2kB SRAM
- Yazılım koruması
- 2 adet 8 bit, 1 adet 16 bit timer
- Real Time Counter(RTC)
- 6 kanal PWM
- 8 kanal 10 bit ADC
- USART, SPI, I2C haberleşme birimleri
- Programlanabilir Watch Dog Timer

Bu projede mikrodenetleyicide bulunan PWM, USART, I2C, timer birimleri ile 11 adet dijital I/O bacağı kullanılmaktadır.

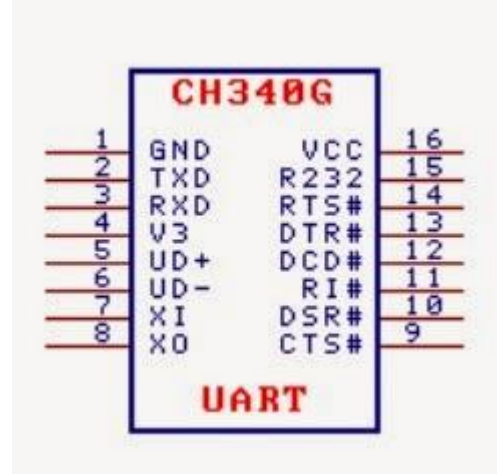
2.1.3. CH340G

Günümüzde bilgisayarların başka cihazlarla kablolu olarak USB üzerinden haberleşmektedir. Eğer bir elektronik cihazla bilgisayar arasında haberleşme kurmak isteniyorsa cihazın da USB protokolünü desteklemesi gerekmektedir. Mikrodenetleyicilere bakıldığında ise modellerin çok azında bu birim bulunmaktadır.

Ayrıca içerisinde USB bulunan modellerin fiyatı daha yüksek olarak karşımıza çıkmaktadır. İçerisinde USB bulunmayan modüllerin bilgisayarla haberleşmesi için USB to Serial dediğimiz entegreler kullanılmaktadır. Bilgisayarın USB birimi üzerinden gelen veri çözülerek USART üzerinden mikrodenetleyiciye gönderilir.



Şekil 29 - CH340G SOIC Kılıf

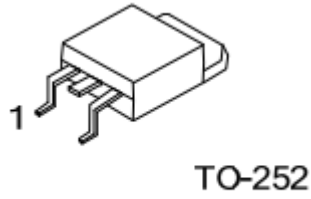


Şekil 30 - CH340G Bacakları

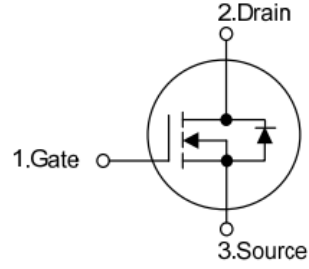
CH340, USB üzerinden gelen veriyi USART protokolüne çeviren bir ara birimdir. Ayrıca ek bir entegre kullanılarak RS232 ve RS485 desteği de bulunmaktadır. Bu entegrelerin en büyük özelliği ise muadillerine göre çok ekonomik olmasıdır. Birçok Arduino modelde kullanılan bu entegreler geçen yıllar içerisinde kendisini kanıtlamıştır. Şekil 29'da CH340 entegresinin yapısı ve Şekil 30'da bacak bağlantıları görülmektedir.

2.1.4. UTT70N06 Mosfet ve IR2101 Mosfet Driver

LiDAR cihazlarda 360° alan taraması sensörün bir motor yardımıyla döndürülmesi ile elde edilmektedir. Bu projede döndürme işlemi DC motorla gerçekleştirilmektedir. DC motorun hız ve yön kontrolü ise MOSFET gibi yarıiletken elemanların tetiklenmesi ile yapılmaktadır. Motorun yönü beslemenin kutuplarının değiştirilmesi ile elde edilirken hız kontrolü ise PWM gibi yöntemlerle sağlanmaktadır.

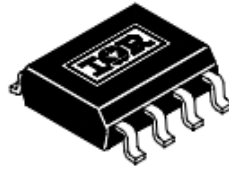


Şekil 31 – TO-252 Kılıf UTT70N06 MOSFET



Şekil 32 - UTT70N06 MOSFET İç Yapısı

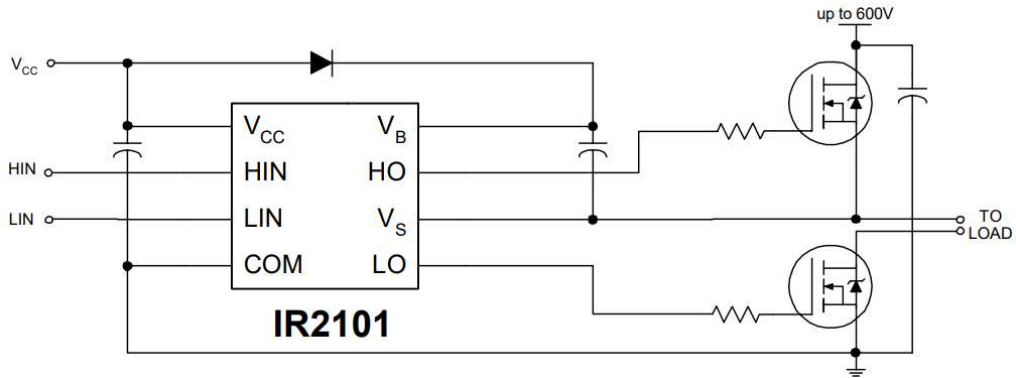
Şekil 31 ve Şekil 32’de UTC marka UTT70N06 model MOSFET ve içyapısı görülmektedir. Gate bacağından tetiklenen n-kanal MOSFET’te voltaj akışı Drain’den Source bacağına doğrudur.



8-Lead SOIC IR2101S/IR2102S

Şekil 33 - IR2101 MOSFET Sürücü

Şekil 33’de gösterilen IR2101, motor kontrolü için kullanılan MOSFET’lerin sürücüsüdür. Bu sürücü iki adet MOSFET’i sürerek bir DC motorun hız kontrolünü yapabilmektedir. PWM yöntemi ile çalıştırılan motorda hız kontrolü, gerilimin belli bir süre verilip sonra boş bırakılması ile yapılmaktadır.

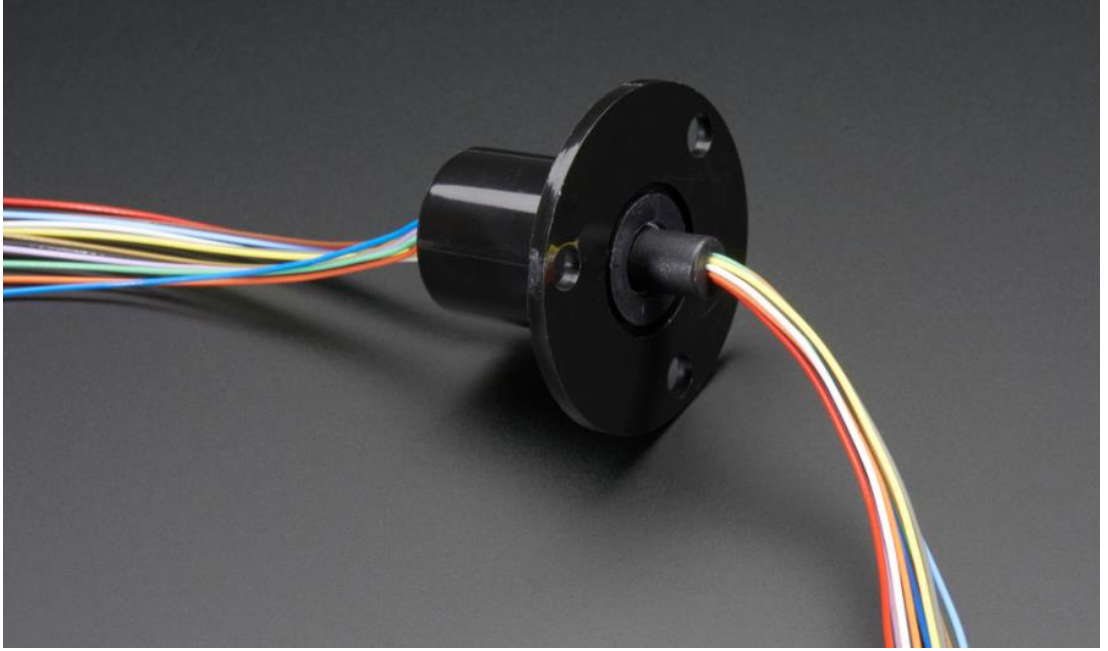


Şekil 34 - IR2101 Motor Sürme Devresi

Şekil 34'te motorun sürülme devresi görülmektedir. Motorun bu şekilde sürülmesinin en büyük nedeni motora PWM uygulanırken çok kısa sürelerde motora enerji verilmemesidir. Bu esnada hâlihazırda dönen motor jeneratör gibi enerji üretecektir. Bu ortaya çıkan enerjinin toprağa verilmesi gerekmektedir. Aksi halde motora zarar verebileceği gibi motorun hareketlerinde istenmeyen tepkilerin ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir. Bu nedenle LO bacağına bağlı olan MOSFET PWM dalgalarının enerjisiz kısımlarında devreye girerek oluşan gerilimin toprağa gitmesini sağlamaktadır.

2.1.5. Flanşlı Döner Aktarıcı Kablo

Flanşlı döner aktarıcı kablo, projede sabit olan kısım ile hareketli kısım arasındaki enerji hatları ile sensör haberleşme bağlantısının yapıldığı aparatır. 360° dönebilen yapısı sayesinde bu tip projelerde kullanıma uygun bir üründür. İçerisinde barındırdığı 12 kanal ile döner yapıdaki çoğu projede kullanım için kullanılabilir.



Şekil 35 - Aktarıcı Kablo [32]

Şekil 35'te aktarıcı kablo görünmektedir. 12 hat barındıran bu üründe 28AWG kablo sayesinde her hat 240V gerilim 2A akıma karşı dayanıklıdır. Ayrıca 300rpm hızına kadar sorunsuz aktarım yapabilmektedir. İçerisinde barındırdığı 12 adet altın kaplama halkalara temas eden diğer çubuk yapıları ile iletim sağlanmaktadır [32].

2.1.6. SM351LT Manyetik Sensör

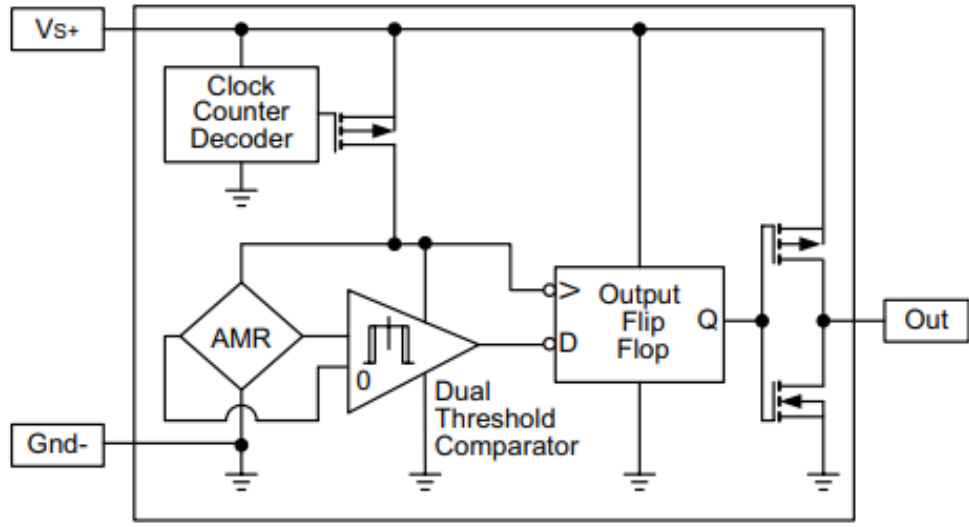
Manyetik sensörler ortamın manyetik alanındaki değişimlere duyarlı elemanlardır. Bu elemanlar manyetik alandaki değişimlere bağlı olarak gerilim üretmektedir. Analog veya dijital çıkışlı olabilmektedirler. Manyetik alan sensörleri endüktif (bobinli) veya yarı iletken malzemelerden üretilmektedir.



Şekil 36 - SM351LT Manyetik Alan Sensörü [33]

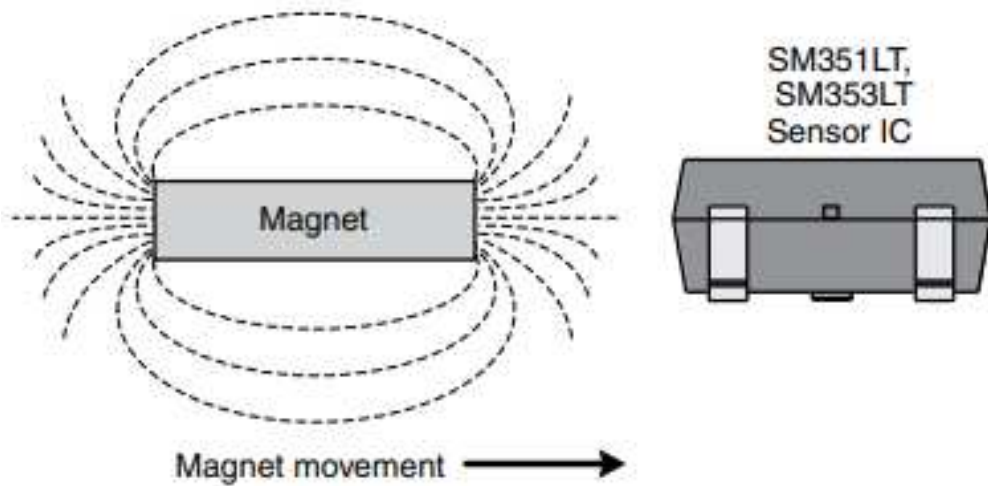
Şekil 36’da SM351LT sensörün izometrik görünümü bulunmaktadır. SOT23 kılıfına sahip bu sensör devre üzerinde neredeyse hiç yer kaplamamaktadır. Sensörün genel özellikleri ise şu şekildedir:

- 1,65 – 5,5V çalışma gerilimi
- 360nA ortalama akım tüketimi
- 7 – 11 Gauss manyetik alan algılama



Şekil 37 - SM351LT İç Yapısı [33]

Şekil 37’de sensörün iç yapısı görülmektedir. İçerisinde bulundurduğu magnetoresistive malzeme sayesinde manyetik alan değişimini algılamaktadır. Bu malzemede manyetik alandaki değişimine karşılık olarak direnci değişmektedir. Değişen direnç değeri sayesinde bir karşılaştırıcı Op-Amp kullanılarak eşik seviyesinin geçilmesi ile çıkış verilmektedir. Sensör dijital olarak çalışmaktadır. Algılama olmadığı zaman çıkış bacağına besleme voltajı bulunurken mıknatıs yaklaştırıldığında bu gerilim GND seviyesine düşmektedir [33].



Şekil 38 - SM351LT Örnek Uygulaması [33]

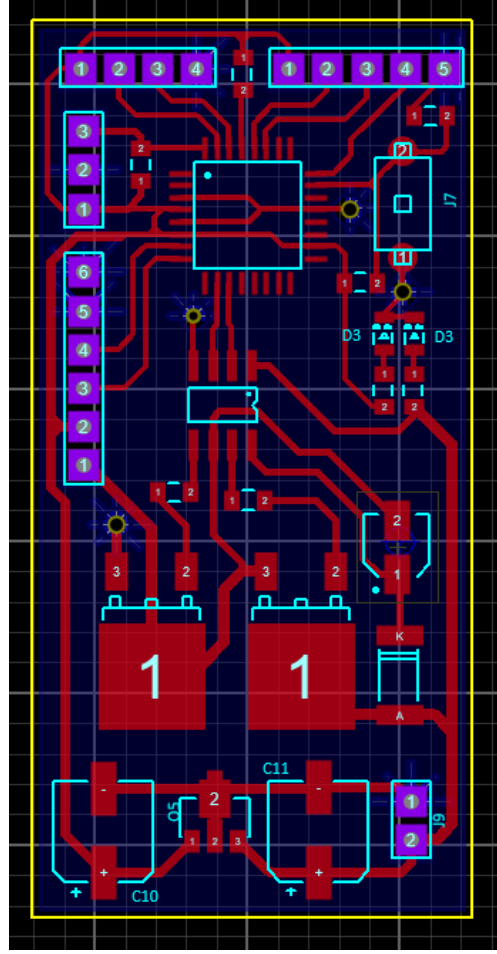
Şekil 38’de manyetik alan sensörü ve mıknatısın yaklaşma yönü gösterilmektedir. Bu açıda yaklaşan bir mıknatıs algılanarak çıkış voltajı değiştirilmektedir. Uygulamada bu sensör tam tur algılaması amacıyla kullanılmaktadır. Döner kısma yerleştirilen mıknatıs ve sabit kısımda duran sensör sayesinde sistemin tam turunu bitirdiği anlaşılmaktadır. Bu sayede ölçülen mesafe ile birlikte gönderilen açı değerlerinde oluşabilecek sapmaların önüne geçilmiştir.

2.2. BASKI DEVRE KARTI (PCB)

Bu bölümde tasarımı yapılan LiDAR cihazın devreleri üzerine durulmaktadır. Kısaca 3 bölüme ayrılan devreler; ana kart, haberleşme kartı ve ToF kartı olarak ayrı ayrı tasarlanmıştır. Elektronik kartlar birbirine soket ve kablolarla bağlanmaktadır.

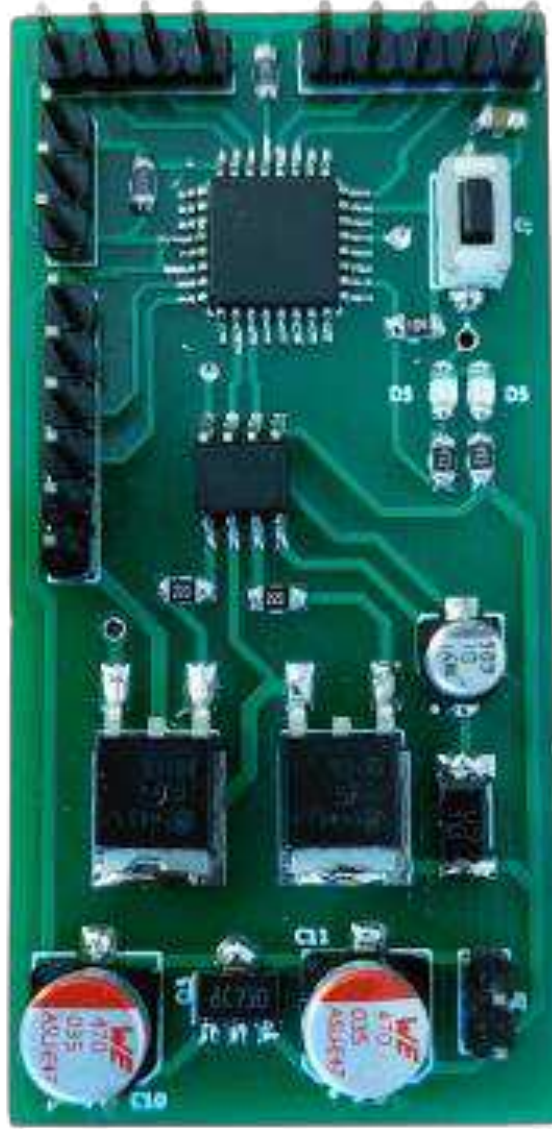
2.2.1. Ana Kart

Ana kart, sistemin beyni olarak tasarlanmıştır. Mikrodenetleyici, regülatör ve motor sürme devresinden oluşmaktadır. Haberleşme ve ToF kartı kablo ile ana karta bağlanmaktadır. Mikrodenetleyicideki yazılıma göre tüm işlemler ana kartın süzgecinden geçmekte ve tüm komutlar yine burada oluşmaktadır. Enkoderli DC motordan gelen veriler ışığında motorun hızının kontrolü yapılırken aynı zamanda da ToF kartından gelen mesafe verileri işlenmektedir. Aynı zamanda sistemdeki hall effect entegresi ile motorun tam sıfır noktası belirlenmekte, enkoderden gelen verilerle birlikte mesafe verileri birleştirilir. Bu iki veriden mesafe ve açı verileri oluşturularak haberleşme kartı üzerinden bilgisayara gönderilir.



Şekil 39 - Ana Kart PCB Tasarımı

Şekil 39'da devrenin PCB tasarımı görülmektedir. Devreye gelen 12V gerilim bir regülatör yardımıyla 5V'a düşürülmektedir. Bu enerji seviyesi hem mikrodenetleyici, hem ToF kartı hem de haberleşme kartının beslemesi olarak kullanılmaktadır. 12V besleme ise aynı zamanda motorun çalıştırılması için MoSFET'e bağlanmaktadır.



Şekil 40 - Ana Kart Üst Görünüş

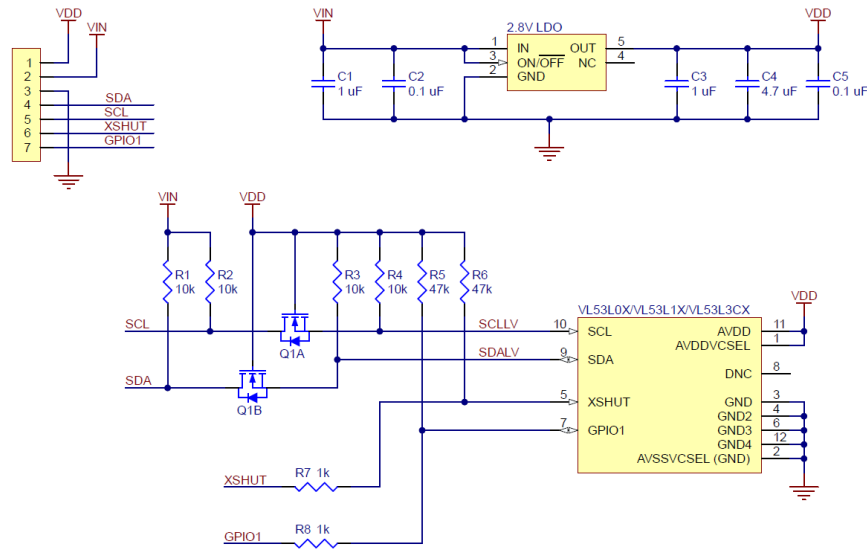
Şekil 40'ta ana kartın üst görünüşü bulunmaktadır. Tasarlanan PCB dizaynı bir üretici firmaya gönderilerek yeşil PCB baskısı alınmıştır. Tedarik edilen malzemelerin dizilmesi ile kart son haline ulaşmıştır.

2.2.2. ToF Kartı

ToF kartı, LiDAR cihazının üstündeki döner yapının içerisinde bulunmaktadır. 20ms aralıklarla ölçüm yaparak elde ettiği sonuçları ana karta göndermektedir. Sistemin üst parçası olan döner yapıdaki küçük bir açıklıktan lazer ve fotodiyotların

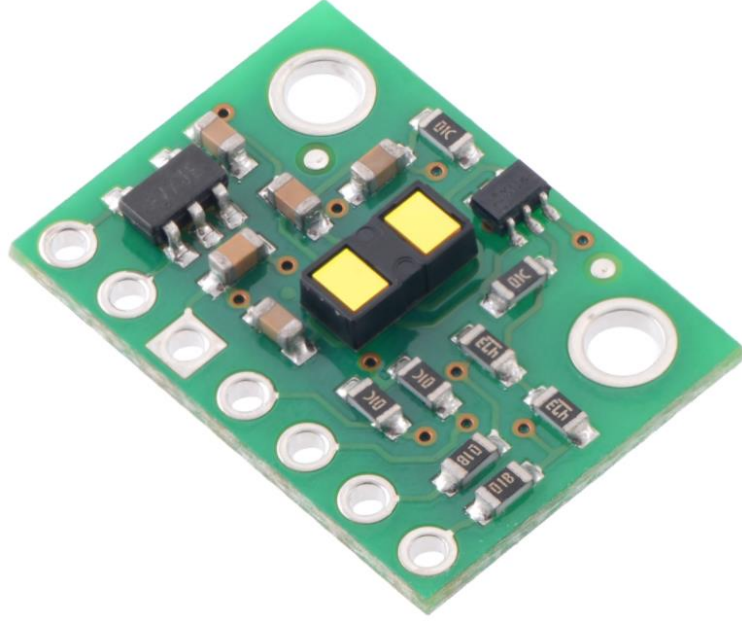
ışığı gönderip alması sağlanmaktadır. Kartın kalan kısmı ise tamamen içeride izole olarak durmaktadır.

ToF kartında VL53L1X, regülatör ve gerilim seviye dönüştürücü bulunmaktadır. Ana karttan gelen 5V, regülatör ile 2,8V seviyesinde düşürülmekte ve kart içerisinde bu gerilim dolaştırılmaktadır. Gerilim dönüştürücü ise ana kartla olan haberleşme esnasında verinin lojik seviyelerini ayarlamak amacıyla kullanılmaktadır. Dönüştürücü ana kart ile bağlantı kısmını 5V düzeyinde tutarken ToF entegresi ile olan bağlantı kısmını 2,8V seviyesinde tutmaktadır. Bu sayede hem haberleşme düzgün bir şekilde yapılmakta hem de sensöre en fazla 2,8V geleceği için yüksek gerilim kaynaklı hasarların önüne geçilecektir.



Şekil 41 - ToF Kartı Şematik Tasarım

Şekil 41'de VL53L1X sensörün devre şeması bulunmaktadır. Sensörün ve lazer LED'in beslemesi farklı 1 ve 11 numaralı iki pinden ama tek kaynaktan yapılmaktadır. Yine aynı şekilde sistemde tek toprak bulunmaktadır. Bu sensörde diğer ToF entegrelerindeki besleme ve toprakları ayırma işlemine gerek duyulmamaktadır. Regülatörle 2,8V'a düşürülen gerilim sensörün beslemektedir. Ayrıca mikrodenetleyiciye giden haberleşme hatlarına pull-up dirençleri ile gerilim dönüştürücü eklenmiştir. XSHUT pini kaçak akımın önlenmesi için pull-up yapılmıştır. Ayrıca ölçümün bittiğini belirten kesme çıkışı GPIO01 bacağından mikrodenetleyiciye gitmektedir ve burada da 10kOhm direnç ile pull-up yapılmıştır.



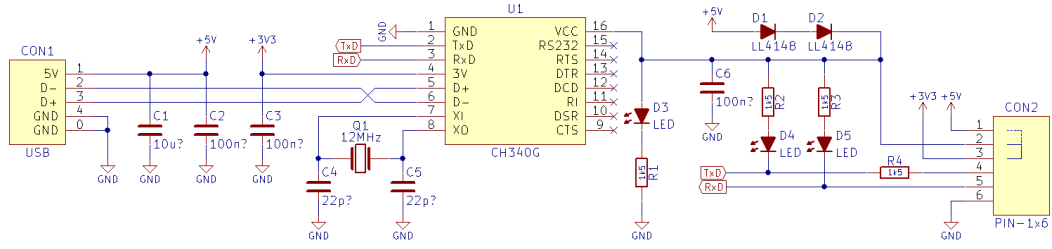
Şekil 42 - ToF Kartı Üstten Görünüş

Şekil 42’de ToF kartı bulunmaktadır. VL53L1X sensörü kartın tam ortasına yerleştirilmiştir. Bu sensör kompakt yapısıyla dikkat çekmektedir. İçerisinde hem lazer LED hem de fotodiyotu barındırmaktadır. Ayrıca lazeri odaklamak ve yansıyan ışığı toplamak için içerisinde mercek barındırmaktadır. Uçuş süresini içerisinde otomatik olarak hesaplayan bu sensör elde ettiği verileri kesme oluşturarak mikrodenetleyiciye bildirmekte ve I2C hatları üzerinden sonuçları göndermektedir.

2.2.3. Haberleşme Kartı

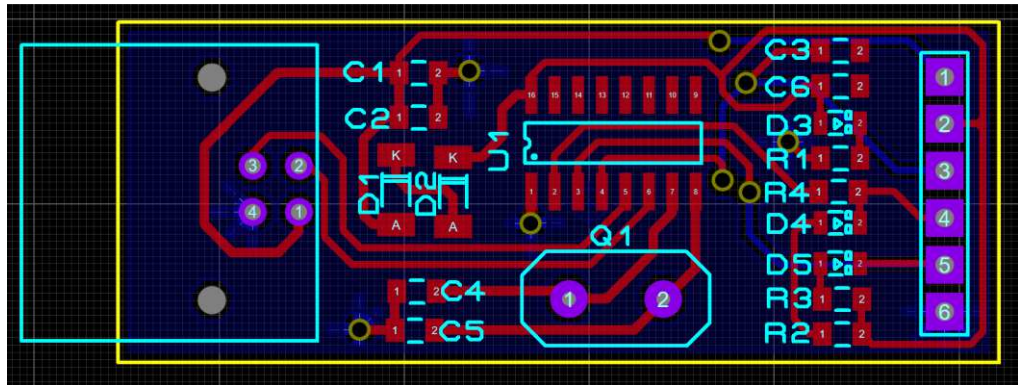
Projenin esası 360° alanın mesafe verilerinin ölçülmesi ve elde edilen değerler bilgisayara gönderilmektedir. Mikrodenetleyicide USB birimi olmaması nedeniyle bir ara kart tasarlanarak denetleyici ile bilgisayar arası haberleşme kurulmuştur. Haberleşme kartında CH340 USB to Serial entegresi bulunmaktadır. Bu entegre bilgisayar üzerinden USB protokolü ile gelen veriyi UART protokolüne dönüştürerek mikrodenetleyiciye göndermektedir.

Haberleşme kartı genel kullanıma uygun modül şeklinde tasarlanmıştır. B tipi USB kullanılan bu kartta CH340 entegresi bulunmaktadır. Bu entegre USB2.0 full duplex yani eş zamanlı iki taraflı iletişimi desteklemektedir.



Şekil 43 - Haberleşme Kartı Şematik Çizimi [34]

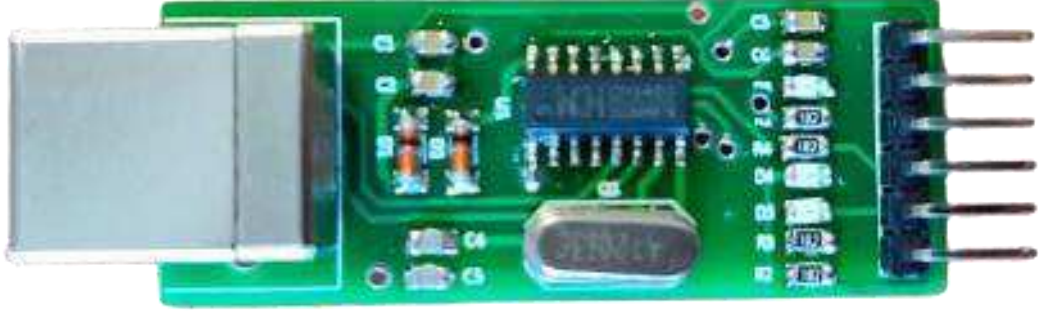
Şekil 43'te haberleşme kartının şematik çizimi görülmektedir. Kartın beslemesi USB bağlantısından gelen 5V gerilim ile sağlanmaktadır. Aynı zamanda CH340G içerisinde bulunan 3,3V regülatör çıkışı da kartın çıkış bacağına bağlanmıştır. Ayrıca haberleşme olduğunu gösteren LED'ler TX ve RX bacaklarına eklenmiştir.



Şekil 44 - Haberleşme Kartı Tasarımı

Şekil 44'te haberleşme kartının devre tasarımı görülmektedir. Devrenin sol kısmında B tipi USB bağlantısı, sağ tarafında ise 6'lı jumper bacakları bulunmaktadır. Bu bacaklar sırasıyla:

1. 5V DC
2. Besleme Seçim Bacığı
3. 3,3V DC
4. Tx
5. Rx
6. GND



Şekil 45 - Haberleşme Kartı Üstten Görünüş

Şekil 45'te haberleşme kartının üstten görünüşü bulunmaktadır. Kartın tasarımı proje haricinde de kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. USB tip B kablo ile bağlantı yapılabilmekte ve çıkıştaki bacaklar sayesinde herhangi bir devrede kullanıma uygundur.

3. YAZILIM

Tezin bu kısmında mikrodenetleyici ve bilgisayar yazılımı anlatılmaktadır. Elektronik seviyede sensör haberleşmesi olan I2C ile UART üzerine durulacaktır. Ardından bilgisayar yazılımında kullanılan derleyici ve yazılımın akışı anlatılacaktır.

3.1. MİKRODENETLEYİCİ YAZILIMI

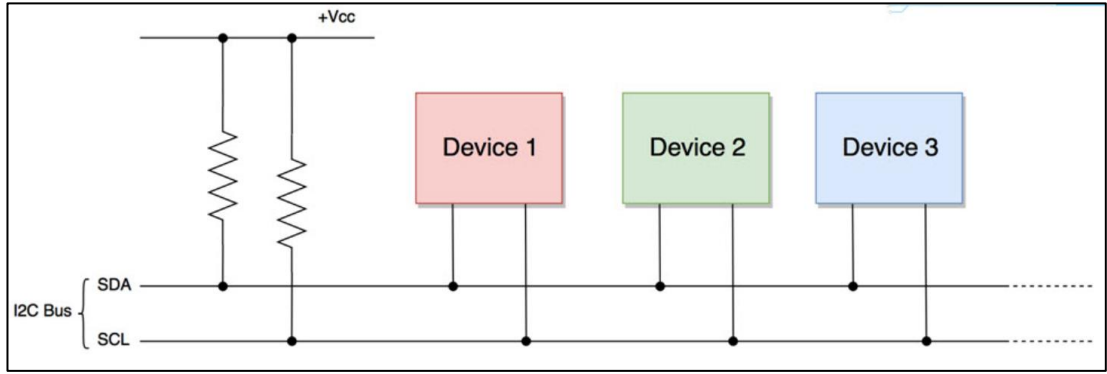
Mikrodenetleyici; içerisinde RAM, ROM ve EEPROM gibi birimleri barındıran kompakt bir işlemci sistemidir. Hafızası bilgisayar işlemcilerine nazaran çok daha düşük olmakla beraber elektronik aletlerin neredeyse hepsinde mikrodenetleyiciler kullanılmaktadır. Kullanımı pratik, yazılımı ve programlaması basit elemanlardır.

V53L1X sensörü I2C haberleşmesi kullanmaktadır. Mikrodenetleyiciden komutları bu hat üzerinden almakta, ölçtüğü mesafe verilerini yine bu hat üzerinden göndermektedir. Mikrodenetleyici ile bilgisayar arası haberleşme ise haberleşme kartının da devreye girmesiyle UART üzerinden olmaktadır. Bu nedenle bu iki haberleşme türü de bu kısımda anlatılacaktır.

3.1.1. I2C Protokolü

I2C(Inter Integrated Circuit) elektronik devre elemanlarının kendi aralarında haberleşmesini sağlayan bir haberleşme protokolüdür. Sensörler, EEPROM ve FLASH gibi hafıza entegreleri bu protokol ile haberleşmektedir. Sadece 2 bacak üzerinden haberleşme sağlanmaktadır. Çoğu mikrodenetleyici ve sensörler SPI veya I2C haberleşme protokolünü kullanmaktadır.

Sekil-1'de mikrodenetleyici ile I2C iletişimini kullanan elemanların bağlantısı görülmektedir. [35]



Şekil 46 - Elemanların I2C Bağlantısı [35]

I2C protokolünde SDA ve SCL olmak üzere 2 bacak bulunmaktadır. Aynı anda birden fazla devre elemanı yine sadece bu iki hat üzerinden haberleşebilmektedir. Hatta bağlı entegrelerden biri master olarak görev alırken diğerleri slave modunda çalışmaktadır. Master cihaz haberleşmenin kontrolünü elinde bulundurmakta ve slave cihazlarla tek tek haberleşmektedir. Aynı anda sadece bir master ile bir slave arasında haberleşme olmaktadır. Böylece her slave cihazın bir adresi bulunmakta ve master eleman ilgili adresleri kodlayarak slave elemanlarla ayrı ayrı veri alışverişinde bulunmaktadır.

SDA ve SCL hatlarına gelinecek olursa SCL bacağı haberleşen elemanlar arası senkronizasyon sağlamaktadır. SCL hattı üzerinden gönderilen kare dalga şeklindeki saat sinyallerinin düşen veya yükselen kenarlarında verilerin transferi gerçekleşmektedir. Bu senkronizasyon sinyali master eleman tarafından sağlanmaktadır. SDA hattı ise clock sinyallerinin senkronizasyonu sağlaması ile veri transferinin gerçekleştiği hattır. Master eleman öncelikle haberleşme kuracağı slave

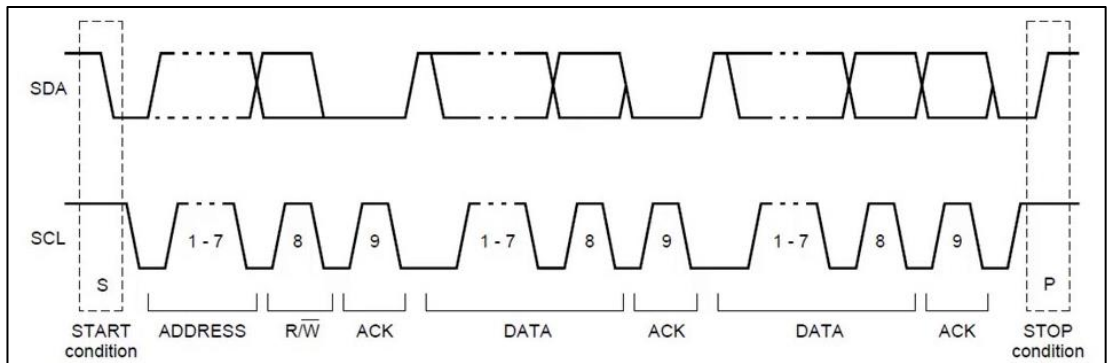
elemanın adresini göndererek cevap beklemektedir. Ardından slave elemanla ilgili komut veya register adresi gönderilerek slave elemanın okuması veya yazması yapılmaktadır.

Cihazlar arasındaki iletişim göz önünde bulundurulduğunda aşağıdaki 4 durumdan biri gerçekleşmektedir.

- **Hat Uygun:** SDA ve SCL pinlerinin her ikisi de lojik-1 seviyesinde olma durumudur. Bu durumda hat veri iletimine müsaittir.
- **Haberleşme Başlama Komutu:** SCL lojik-1 seviyesinde iken SDA lojik-1 seviyesinden lojik-0 seviyesine indirilir. Bu haberleşmenin başladığını göstermektedir.
- **Haberleşme Durdurma Komutu:** SCL hattı yine lojik-1 seviyesinde iken bu kez SDA hattı lojik-0'dan lojik-1'e geçmektedir. Bu haberleşmenin sonlandığını gösterir.
- **Veri Transferi:** Bu kısım haberleşme başlama ile durdurma arasında olan transfer kısmıdır.

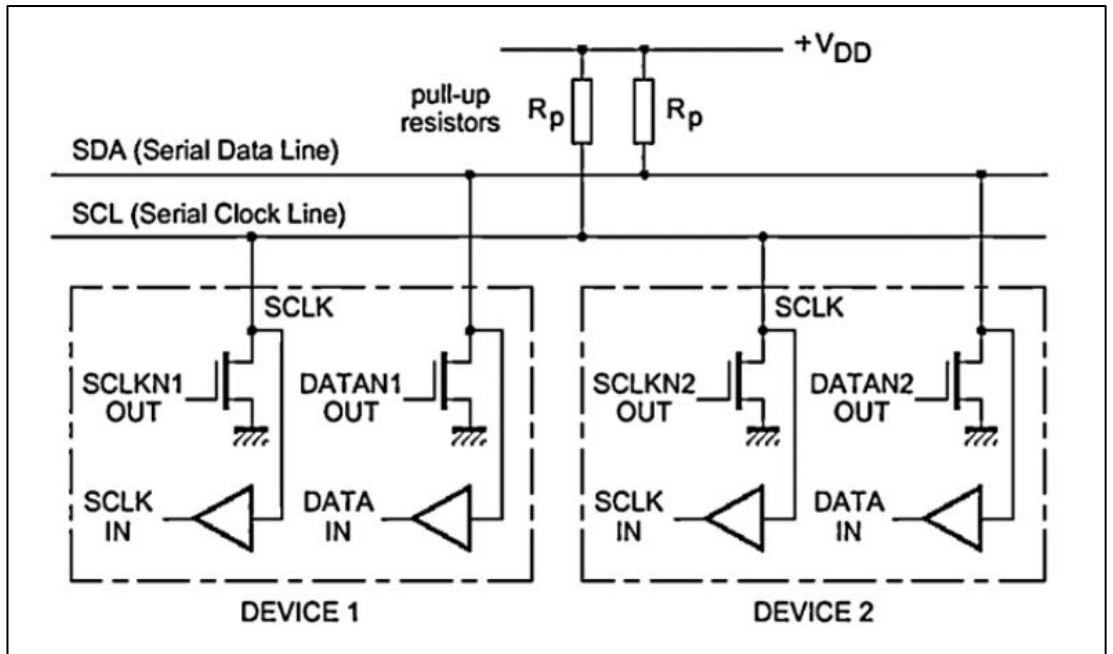
I2C protokolü 3,4Mbps hızlara kadar destek sunmaktadır. Entegrelerin içerisindeki dizayna göre düşük veya yüksek hızlarda iletişim yapılmaktadır. Master cihaz bu hızı SCL hattı üzerinden belirleyerek slave entegrenin de o hızda çalışmasını sağlamaktadır.

Sekil-47'de I2C haberleşmesinin protokolü görülmektedir. Bu haberleşmede önce slave adresi, ardından veriler gönderilmektedir. Her 8 byte veri gönderiminin ardından slave cihaz ACK biti ile verinin alındığını belirtmektedir. [35]



Şekil 47 - I2C Haberleşme Protokolü [35]

I2C iletişiminde hat üzerinde birden fazla cihaz olması nedeniyle aynı anda sadece 2 cihaz arasında haberleşme gerçekleşmektedir. Bu nedenle her cihaza birer adres atama işlemi yapılmaktadır. Böylece hatta ilk olarak gönderilen adres bilgisine sadece ilgili slave cihaz cevap vermektedir. Böylece haberleşmede üst üste veri binmesinin önüne geçilmektedir. Ayrıca haberleşme tamamen master cihaz tarafından kontrol edilmektedir. Hatta sadece bir tane master cihaz bulunmakta ve haberleşme sadece master cihaz ile hat üzerindeki bir slave arasında gerçekleşmektedir. [35]



Şekil 48 - I2C İç Yapısı

I2C iletişiminde kullanılan SCL ve SDA uçlarının iç yapısı Şekil-19.3'de görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere SCL ve SDA hatları pull-up direnci ile VDD hattına bağlanmalıdır. [35]

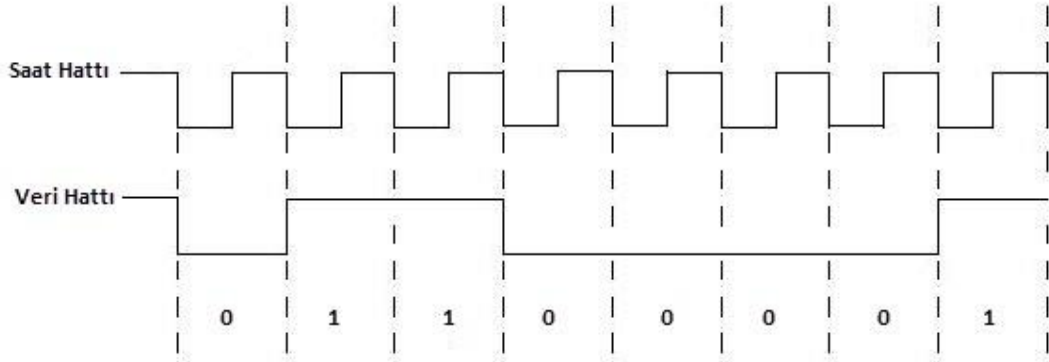
3.1.1.1. Senkron Seri İletişim

Senkron seri iletişimde veri alışverişinin gerçekleştirildiği veri hattı, iki cihaz arasındaki senkronizasyonu sağlayan clock(saat) hattı ve bu saat hattının toprak bağlantısı bulunmaktadır. Veriler saat hattı tarafından gerçekleştirilen tetikleme yardımı ile iletilir. Bir cihazdan diğerine veri iletimi esnasında bir bitlik kısım

gönderildiğinde saat hattı tetiklenir ve bu tetikleme ile alıcı cihaz tarafından bu bit alınır. Veri iletim işlemi eşzamanlı olarak aktarılır.



Şekil 49 - Senkron Seri İletişim - 1 [35]

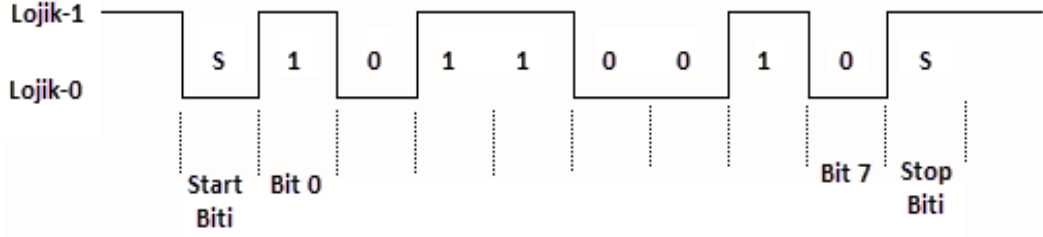


Şekil 50 - Senkron Seri İletişim - 2 [35]

Senkron seri iletişimde hem veri iletim hızı hem de verilerin akış kontrolü daha yüksektir. Bu özellikleri ile robotik uygulamalarda kullanımı daha yaygındır. Şekil 4-6'da saat sinyalinin tetiklemesi sonucu veri gönderimi görülmektedir. Noktalı yerlerde gösterilen değişimlerde veri iletimi gerçekleşir. [35]

3.1.1.2. Asenkron Seri İletişim

Asenkron seri iletişim, senkron seri iletişimden farklı olarak sadece veri hattı ile iletişimin gerçekleştiği, bir saat hattına gerek duyulmayan seri iletişim türüdür. Bu iletişim türünde, verilerin başlangıç ve bitiş kısımlarının anlaşılabilmesi için ilaveten bitlere ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 51 - Asenkron Seri İletişim [35]

Asenkron seri iletişim senkron iletişime göre daha az hat gerektirdiği için daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Verinin başladığı ve bittiği noktaların bilinmesi için başlama (start) ve bitiş (stop) bitleri kullanılmaktadır. Ayrıca verinin düzgün iletilip iletilmediğinin kontrolü için parity biti kullanılır. Şekil 4-7’de 8 bitlik yani 1byte uzunluğundaki verinin iletim şeması görülmektedir. Start ve stop biti ile toplam olarak 10 bit şeklinde gönderilir. Verinin her 8 bitlik kısmına bu işlem uygulanarak 10 bit olarak iletim gerçekleşir. [35]

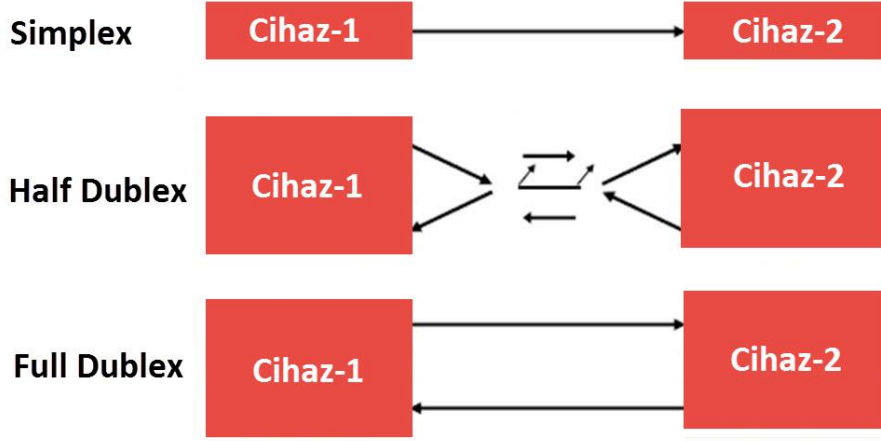
3.1.1.3. Seri İletişim Terimleri

Simplex: Simplex veri iletimi, iki cihaz arasında tek bir veri hattının bulunduğu türdür. Veri iletimi sadece bir cihazdan diğerine doğrudur, yön değiştiremez. Örneğin radyo cihazları radyo sinyallerini alarak ses şeklinde çıkış verirler. Buradaki veri iletimi sadece radyo istasyonundan radyo cihazına doğrudur. Diğer yönde veri iletimi söz konusu değildir.

Half Duplex: Half duplex veri iletiminde simplex veri iletimindeki gibi tek bir veri hattı bulunmaktadır. Fakat farklı olarak bu hat üzerinden hem veri gönderimi hem de veri alımı yapılabilmektedir. Veriler birim zaman içerisinde sadece tek yönde gerçekleşir. Aynı anda hem veri gönderimi hem de veri alımı gerçekleşemez. Örneğin veri gönderimi gerçekleşirken veri alımı durur ve ancak gönderme işlemi bittiği zaman veri alımı gerçekleşir.

Full Duplex: Full duplex iletimde, veri gönderiminin ve alımının gerçekleştiği iki ayrı hat bulunmaktadır. Bu hatlarda veri iletimi tek yönlüdür. Yani hattın birinde veri gönderimi gerçekleşirken diğerinde veri alımı gerçekleşir. Bu veri iletim yönteminde aynı anda hem veri alımı hem de veri gönderimi gerçekleşebilir.

Bilgisayarlarda bulunan USB portları bu veri iletim yöntemine örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 52 - Simplex, Half Duplex ve Full Duplex Veri İletimi [35]

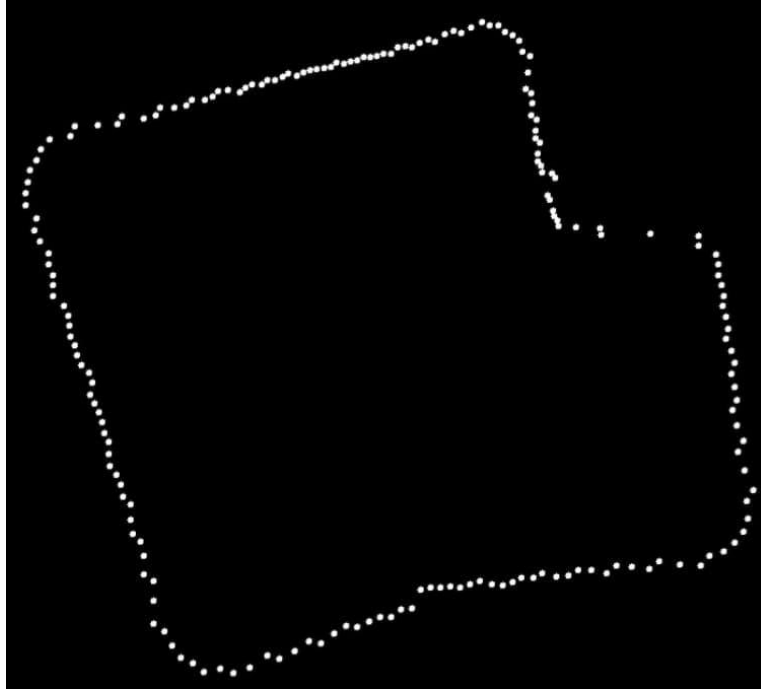
Şekil 4-8’de simplex, half duplex ve full duplex veri iletimlerinin şematik olarak gösterimi bulunmaktadır. Resimden de anlaşılacağı gibi simplex iletimde veri Cihaz-1’den Cihaz-2’ye doğru, half duplex iletimde veri çift yönlü fakat farklı zamanlarda gönderim gerçekleşebilir. Full duplex iletimde ise iki ayrı veri hattı sayesinde aynı anda hem veri alımı hem de gönderimi gerçekleşebilir. [35]

- **Baud Rate:** Baud rate, seri iletişimde kullanılan, saniyede iletilen bit sayısı olarak nitelendirilen hızdır. Birimi bps(bit per seconds)’tir. Örneğin 9600 baud rate değeri saniyede 9600 bitlik veri iletiminin gerçekleştiğini ifade etmektedir. Bu hıza Bps(Byte per seconds) olarak yani saniyede iletilen byte sayısı olarak bakıldığında bu değer $9600/8 = 1200$ olarak bulunur. Kısacası 9600 baud rate hızı, saniyede 9600 bit veya 1200byte veri iletim hızının gerçekleştiğini ifade eder.
- **Start, Stop, Parity ve CRC Bitleri:** Bu bitler haberleşmeyi başlatıp bitiren ve doğruluğunun saptanmasını sağlar.
 - **Start biti:** Asenkron seri iletişimde kullanılan veri transferini başlatan bittir. Bu bit lojik-0 olarak belirlenmiştir. Gönderilen her verinin her 8 bitlik kısmının başında olmak zorundadır.

- **Stop Biti:** Asenkron seri iletişimde kullanılan, veri transferini sonlandıran bittir. Bu sonlandırma işlemi gönderilen 8 bitlik kısım için geçerlidir. Ardından gelecek yeni 8 bitlik veri parçasında start biti kullanılması durumunda transfer yeniden başlar. Stop biti, her 8 bitlik veri parçasının sonunda bulunması gerekir.
- **Parity Biti:** Asenkron seri iletişimde verilerin sağlıklı bir şekilde gönderilip gönderilememesinin tespitini sağlayan bittir. Tek veya çift parity olarak çeşitleri bulunmaktadır. 8 bitlik veri parçasının 7 bitlik kısmında 3 tane 0 4 tane 1 olsun. Eğer kullanıcı parity bitini tek olarak kullanırsa 8.bit 1 olarak sistem tarafından eklenir. O zaman 3 tane 0 4 tane de 1 olmuş olur. Bakıldığı zaman her iki bit tipinin de tek sayıda bulunduğu görülür. Veriyi alan cihaz tarafından tek parity işlemi gerçekleştirilir ve sonuç olarak her iki bitten de tek sayıda olursa transfer başarılı kabul edilir. Çift parity seçilmesi durumunda ise 8.bit 0 olarak eklenir ki o zaman da her iki bit de çift sayıda olmuş olur.
- **CRC Biti:** Bu bit genel olarak paket anahtarlamalı asenkron seri iletişimlerde hata kontrolünün sağlanması için kullanılır. USB gibi iletişim türleri bu hesaplamayı otomatik olarak kendi içerisinde yaparken bazı durumlarda kullanıcı tarafından hesaplanarak işleme alınması gerekir.

3.2. BİLGİSAYAR YAZILIMI

Bilgisayar kısmına gelindiğinde USB üzerinden gelen veriler Processing yazılımı ile alınmaktadır. Gelen veriler ekran üzerinde işaretlenerek haritalandırma işlemi yapılmaktadır. Bilgisayar yazılımının altyapısı C++ diline dayanmaktadır. Processing ise ekranda grafik ve çizim işlemlerinin yapılmasını kolaylaştıran bir yazılımdır. C#, Java gibi object oriented programlarında satırlar sürece kodlar bu program sayesinde tek satırda dahi halledilebilmektedir. Bu nedenle tezin bilgisayar tarafı Processing ile yazılmıştır.



Şekil 53 - Tarama Sonucu Elde Edilen Verinin Arayüzü

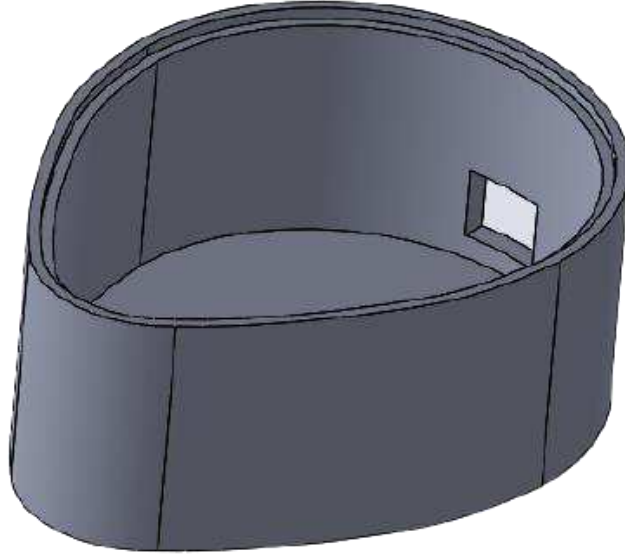
Şekil 53'te tarama sonucu elde edilen verilerin işlenmesi sonucu ara yüzde oluşan harita görülmektedir. Cihazdan gelen açı ve mesafe verileri kullanılarak ekranda bir nokta konmaktadır. Açı ve uzunluk verisi basit bir trigonometrik işlemle x ve y olmak üzere konum verisine dönüştürülmektedir. Bu x ve y verileri de siyah taban üzerine beyaz noktalar konarak ekranda gösterilmektedir.

4. GERÇEKLEŞTİRME

Bu kısımda prototipi yapılan LiDAR cihaz ile yapılan test ve deneyler ile elde edilen sonuçlar işlenmektedir. İlk olarak bir kutu içerisine konumlandırılan cihaz ile boş kutunun haritası çıkarılmıştır. Ardından alan içerisine sırasıyla farklı cisimler eklenerek her seferinde alanın haritası çıkarılmıştır. Cihazın tarama hızı saniyede 50 örnek olarak belirlenmiş ve 3,8°'lik açılarla alanın 360° taraması yapılmıştır.

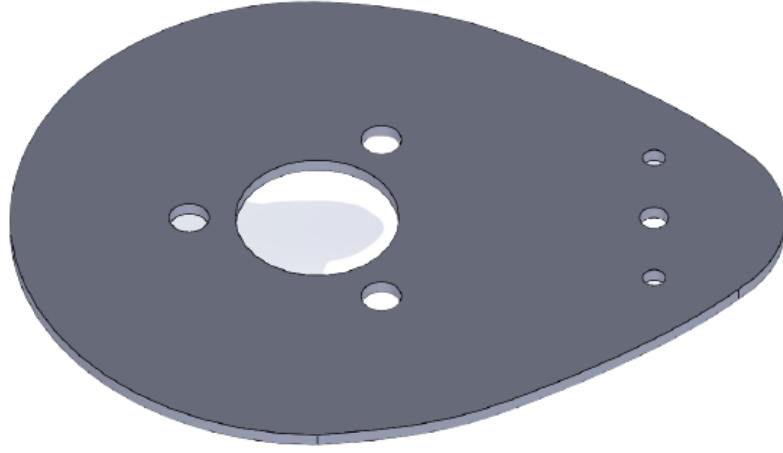
4.1. 3D PRINTER BASKI

Yazının bu kısmında ürünün mekanizma ve dış kutularının SolidWorks tasarımları ile 3 boyutlu yazıcı çıktılarına yer verilmektedir.



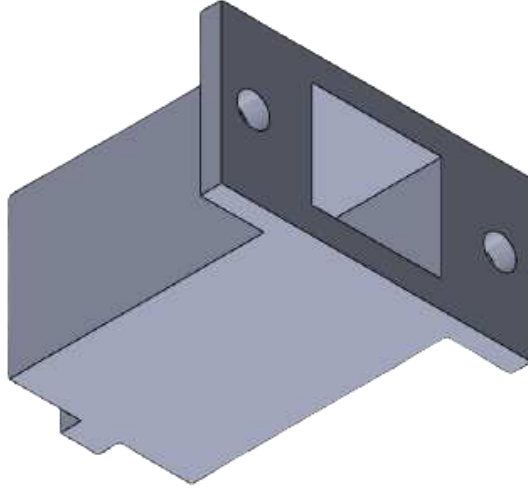
Şekil 54 - Alt Kutu

Şekil 54'te LiDAR cihazının alt kutusu görülmektedir. Bu kutu içerisinde motor, ana kart ve haberleşme kartı bulunmaktadır.



Şekil 55 - Alt Kutu Kapağı

Şekil 55'teki parça alt kutunun kapağıdır. Bu kısma hareketli kablo aktarıcı ve motor vida ile bağlanmaktadır. Sistemin sabit olan kısmında bulunmaktadır.



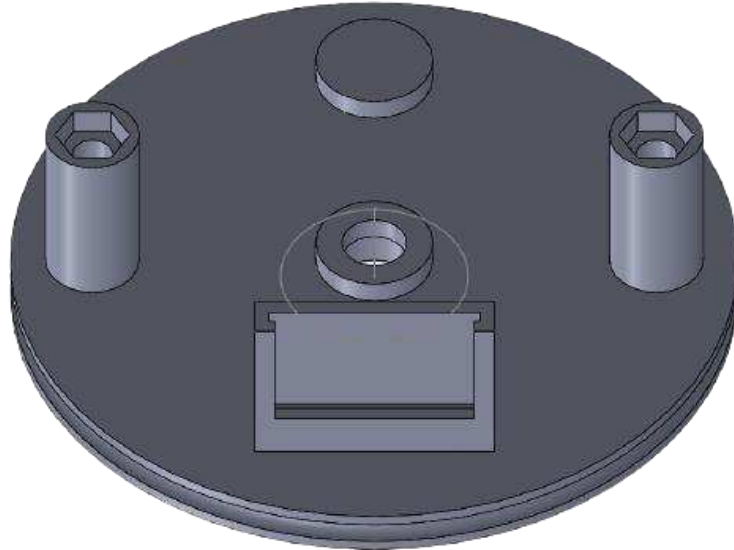
Şekil 56 - Motor Sabitleme Aparatı

Şekil 56'da motor sabitleme aparatı bulunmaktadır. Motor bu aparatın içerisine sıkı bir şekilde geçmektedir. Üst kısmında görülen iki delikle alt kutu kapağına bağlanmaktadır. Motor mili ise alt kutu kapağındaki delikten dışarı çıkmaktadır.



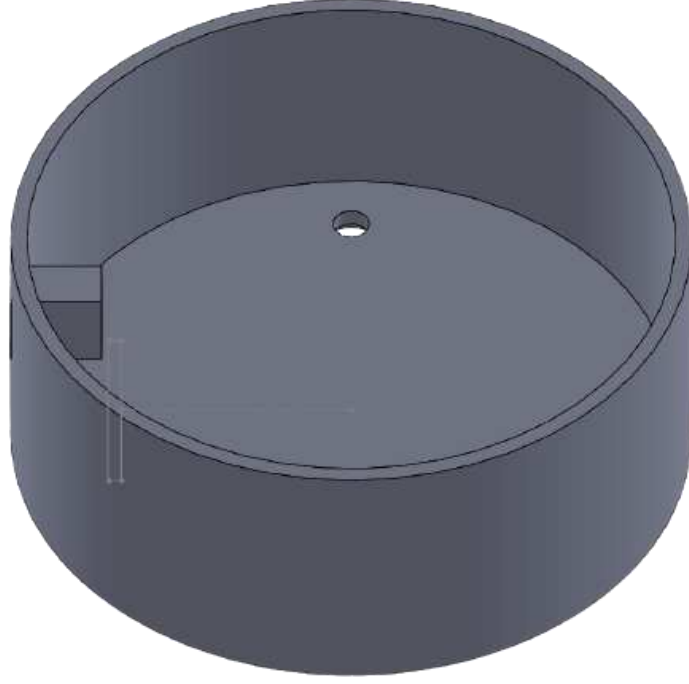
Şekil 57 – Motor Kasnağı

Motor üst kapağında çıkan motor miline bağlanan aparat Şekil 57’de görülmektedir. Bu kasnak motor milindeki çentiğe göre tasarlanmıştır. Kayışla birlikte hareketli kısmın dönmesini sağlamaktadır.



Şekil 58 - Hareketli Kısım Tabanı ve Sensör Bağlantı Aparatı

Şekil 58’de hareketli kısmın tabanı görülmektedir. Hareketsiz tarafta bulunan kablo aktarıcı aparata bağlanmaktadır. Aparatın dönme kabiliyeti sayesinde alt kutu kapağına bağlı olan aparat LiDAR cihazın hareketli ve sabit kısmını birbirine bağlamaktadır.



Şekil 59 - Hareketli Kısım Kapağı

Şekil 59’da hareketli kısmın kapağı görülmektedir. Şeklin solunda bulunan kısımdaki açıklık ile sensör dış ortamı görmektedir. Kapak içerisinde sadece ToF sensör kartı bulunmaktadır. Kapak üzerindeki iki delik ve cıvata ile hareketli kısım kapağına bağlanmaktadır.



Şekil 60 - LiDAR cihazın Yan Görünüşü

Şekil 60'ta LiDAR cihazın yan görünüşü bulunmaktadır. Hareketli kısım tabanı ile kapağı turuncu renkte, sabit olan alt kutu, alt kutu kapağı ve motor kasnağı ise siyah renkte basılmıştır.



Şekil 61 - LiDAR Cihazın Üst Görünüşü

Şekil 61'de cihazın üst görünüşü görülmektedir.

4.2. ÇALIŞMA DÜZENEGİ VE ÖRNEK ÖLÇÜMLER

Bu kısımda önce çalışma düzeneği sonra da elde edilen tarama fotoları sırasıyla konacaktır. Elde edilen sonuçlar ışığında yorum ve karşılaştırmaları yapılacaktır.

Şekil 62’de boş bir kutu içerisine yerleştirilen LiDAR cihazı bu alanda tarama yapmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında ciddi bir sapma görülmemekle beraber bazı kısımların mesafe verileri olduğundan daha kısa olduğu görülmektedir.

Şekil 63’e bakıldığında ise alan içerisine yerleştirilen bir kutunun tarama sonucuna etkisi görülmektedir. Kutunun tarama sonucuna etkisi net olarak görülmektedir.

Şekil 64’te çalışma düzeneğine iki adet kutu konarak taraması yapılmıştır. Aradaki boşluk net bir şekilde belli olurken kutular ile boşluğun kesiştiği yerlerde hassasiyetin düştüğü görülmektedir.

Şekil 65’te alana bir kutu daha eklenerek tarama yapılmıştır. Tam köşeye yerleştirilen bu kutunun tarama sonucu diğer kutulara göre daha düzgün olduğu görülmüştür.

Şekil 66’da ise sisteme eklenen bir kutu daha görülmektedir. Cihaza daha yakın konumda olan bu kutunun tarama sonucu daha fazla örnekleme imkânı sayesinde daha net olduğu görülmektedir.

Elde edilen veriler ışığında sistemin daha düzgün sonuçlarının elde edilebilmesi için örnekleme sayısının artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu sayede açı hassasiyeti artacak ve konan cismin şekli daha net olarak ortaya çıkacaktır. Yüksek tarama hızı ile açı hassasiyeti de düşecektir. SICK firmasına ait bir LiDAR cihazındaki açı hassasiyeti $0,36^\circ$ iken bizim prototip ürünümüzde $3,6^\circ$ ’dir. Bu da aynı mesafedeki bir ürünün 10 kat daha düşük çözünürlükle elde edilmesi demektir.

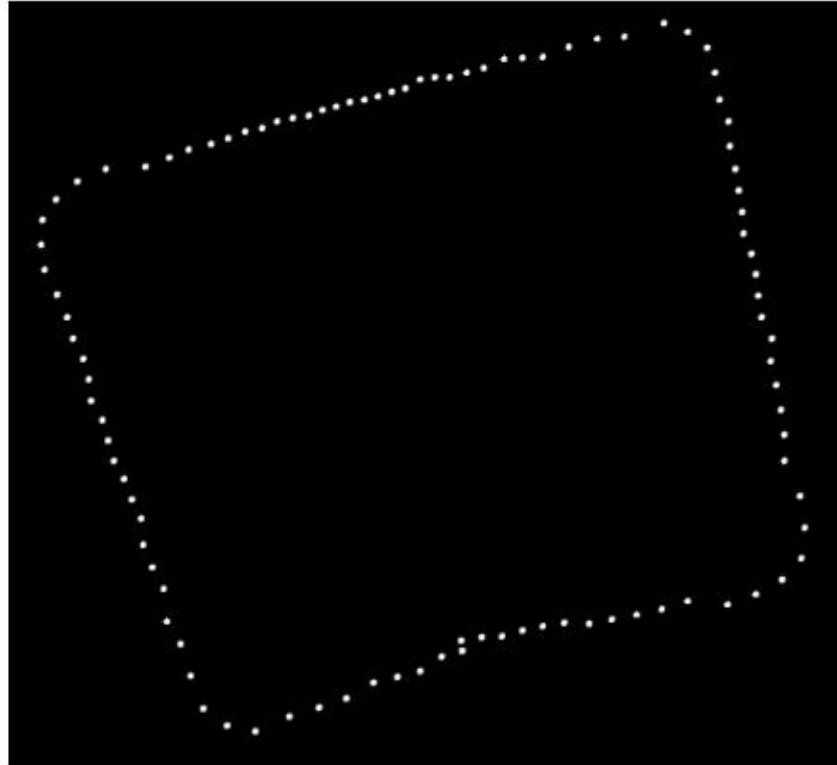
Mesafe konusuna gelindiğinde örnekleme sayısının az olmasından dolayı bir oda yerine basit bir kutu içerisine yerleştirilen cisimlerin taraması yapılmıştır. Sensörün yazmaç ayarlarından ölçüm mesafesi kısa mesafeye alınmış ve maksimum ölçüm mesafesi 1,3m olarak ayarlanmıştır. Uzak mesafe modunda ise en fazla 4m ölçüm alınabilmektedir. Kısa mesafe modunda bir örnek için 33ms süre gerekirken uzak mesafe modunda yaklaşık olarak 100ms süre gerekmektedir. Bu da tam tur için

gereken sürenin çok daha fazla olmasına neden olacağı için kısa mesafe modunda ölçümler yapılmıştır. Cihazın içine yerleştirildiği kutunun boyutları ise 50x60cm'dir. İlerleyen sayfalarda verilen görsellerde kutu ve kutu içerisine yerleştirilen cisimler görülmektedir. Tüm cisimler bu 50x60cm'lik tarama alanı içerisinde bulunmaktadır.

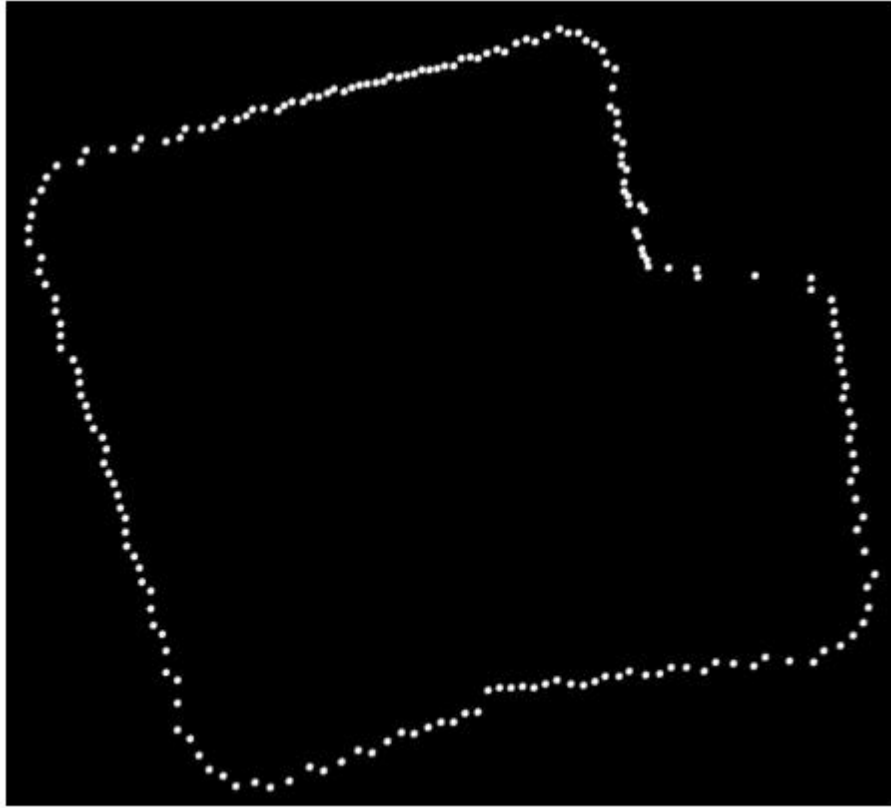
Yapılan ölçümlerde maksimum 20mm hata payı saptanmıştır. Bu da tarama alanı da göz önüne alındığında anlık maksimum hata yaklaşık olarak %4 olarak saptanmıştır. Tekrarlı hata ise VL53L1X datasheetine bakıldığında %1 olarak verilmiştir. Yapılan ölçümler de tekrarlı hatanın yaklaşık olarak o civarlarda olduğunu göstermektedir.

Sensörün görüş açısının değiştirilmesi ise ölçüm mesafesine etki ederken tekrarlı hata üzerine bir etkisi görülmemektedir. Uzun mesafe ölçüm modunda görüş açısı artırılırken kısa mesafe modunda görüş açısının azaltılması gerekmektedir. Yazılımla bu işlem kolayca yapılmaktadır.

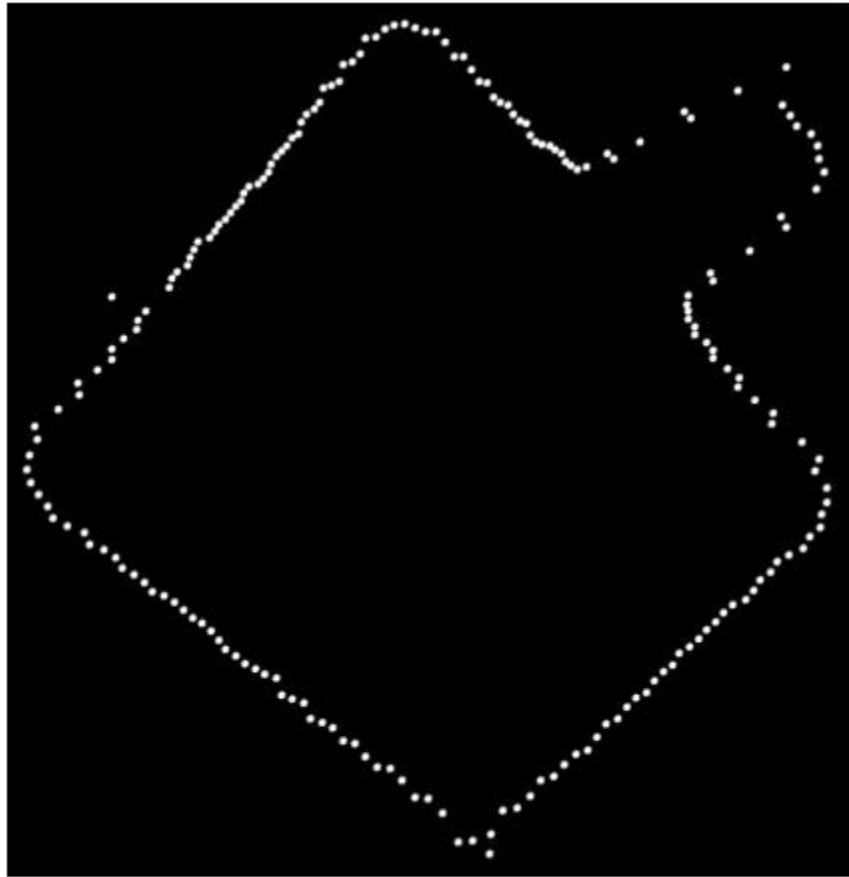
Sistemin enerji harcamasına gelindiğinde ToF modülü 3,3V besleme ile yaklaşık olarak 20mA akım tüketmektedir. Bu harcama kısa mesafe ölçüm modunda ve her 50ms'de 1 ölçüm yapılırken ölçülmüştür.



Şekil 62 - Tarama örneği – 1



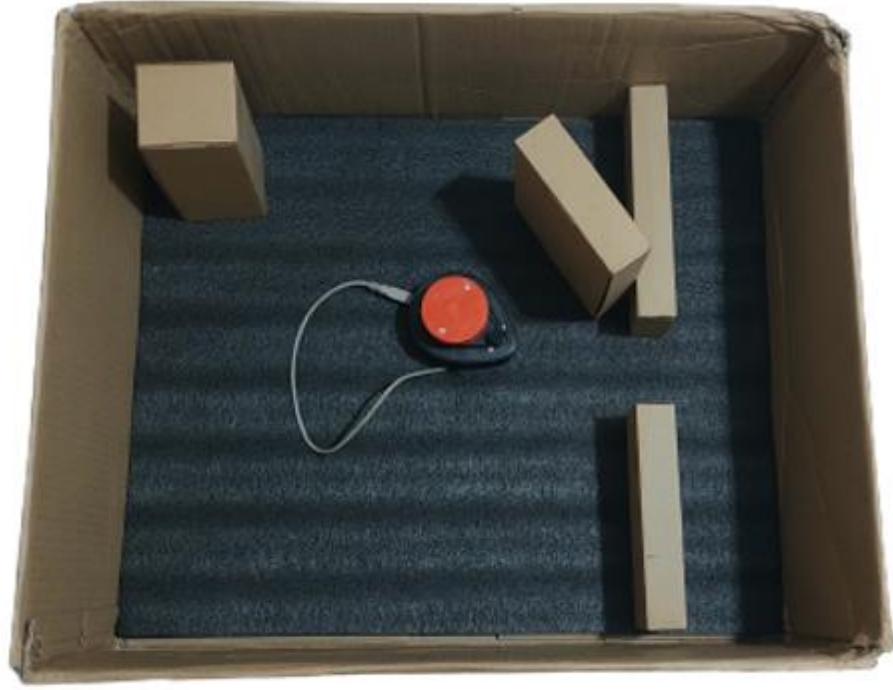
Şekil 63 - Tarama örneği – 2



Şekil 64 - Tarama örneği – 3



Şekil 65 - Tarama örneği - 4



Şekil 66 - Tarama örneği – 5

SONUÇ VE ÇIKARIMLAR

LiDAR cihazın yaptığı taramalar sonucuna bakıldığında yakın mesafelerde mesafe verilerinin yeterli hassasiyette olduğu gözlemlenmiştir. Asıl sorun ise tarama hızı olarak karşımıza çıkmaktadır. Düşük tarama hızı nedeniyle 360° alan taramasında hassasiyet düşmektedir. Bu düşük hassasiyet daha uzak mesafelerde etkisini daha fazla gösterecektir. Bu nedenle tezde kullanılan sensör yerine daha hızlı tarama yapan bir sensör kullanımı daha uygundur. Kullanılan ST marka sensörün tarama hızı 50Hz olarak karşımıza çıkmaktadır. Eğer taranan alan içerisindeki değişimler daha çabuk ve hassas olarak algılanmak istenirse tarama frekansının çok daha yüksek olması gerekmektedir. Yapılan uygulamada ise derece hassasiyeti 3,6° olarak ayarlanmış ve tam alan taraması 4sn'de tamamlanmıştır. Bu değerler sonucu daha yüksek hızlarda bir tarama yapmanın gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Tam alan taramasının 250ms'den düşük olması ve hassasiyetin de 1°'nin altında olması gerçek zamanlı haritalandırma için daha uygun görülmektedir. Bu şartlar altında 1000Hz civarı bir tarama hızı endüstride de kullanıma uygun olacaktır. Sensörün en avantajlı yönü ise ölçüm hassasiyetinin iyi olmasıdır. Bu yönüyle 360° alan taraması yerine sabit bir sensör olarak kullanımı daha uygundur.

Tez sonucu üretimi yapılan prototip LiDAR cihazının performansına bakıldığı zaman kat edilmesi gereken çok daha fazla yolun olduğu görülmektedir. Burada prototip olarak üretilen ürün hobi düzeyinde bir cihazdır. Gerçek anlamda profesyonel ve günlük hayatta bir robot üzerinde kullanılabilecek ürün olabilmesi için sensörün değiştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca sensöre ve tarama hızına bağlı olarak mikrodenetleyicinin de daha yüksek çalışma frekansına sahip başka bir versiyonla değiştirilmesi ve hatta FPGA kullanılması gerekmektedir.

Yazımı gerçekleştirilen bu tezin asıl amacı endüstriyel bir ürüne ulaşmanın ilk adımıdır. Tezle birlikte dünya genelindeki üreticiler ve LiDAR alanında kat edilen yol görülmüştür. Elde edilen bu veriler ışığında daha profesyonel ürünlere ulaşmak amaçlanmaktadır. İlk olarak daha hızlı alan taraması yapan bir LiDAR ile yüksek

piksel sayısına sahip sabit bir sensör olarak kullanılacak LiDAR cihazı amaçlarımız arasında yer almaktadır. Yüksek tarama hızına sahip bir cihazın da robot üzerine konarak SLAM algoritmaları ile haritalandırma yapılması da yine amaçlarımız arasındadır.

KAYNAKÇA

- [1] S. ThinkTech, «Lidar Teknolojisi ve Kullanıldığı Alanlar,» STM ThinkTech, [Çevrimiçi]. Available: <https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=307>. [Erişildi: 15 03 2021].
- [2] E. Baltsavias, «Airborne laser scanning: basic relations and formulas,» *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 199-214, 1 6 1999.
- [3] S. Muckenhuber, H. Holzer ve Z. Bockaj, «Automotive Lidar Modelling Approach Based on Material Properties and Lidar Capabilities,» *MDPI Open Access Article*, 10 5 2020.
- [4] A. Neal, «LiDAR vs. RADAR,» Fierce Electronics, 24 4 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.fierceelectronics.com/components/lidar-vs-radar>. [Erişildi: 17 3 2021].
- [5] L. Eldada, «Solid State LiDAR for Ubiquitous 3D Sensing,» %1 içinde *GPU Technology Conference*, Kaliforniya, 2016.
- [6] C. Rablau, «LIDAR – A new (self-driving) vehicle for introducing optics to broader engineering and non-engineering audiences,» *Proc. of SPIE Vol. 11143*, 2019.
- [7] Wikipedia. [Çevrimiçi]. Available: https://tr.wikipedia.org/wiki/Işık_hızı. [Erişildi: 20 3 2021].
- [8] B. Schweber, «Microcontroller Tips,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.microcontrollertips.com/lidar-and-time-of-flight-part-2-operation/>. [Erişildi: 21 3 2021].
- [9] C. Slattery ve Y. Shida, «ADI ToF Depth Sensing Technology: New and Emerging Applications in Industrial, Automotive Markets, and More,» *Analog Devices*, 2019.
- [10] «Light and Electromagnetic Spectrum,» *Jones & Barlett Learning*, pp. 95 - 121, 2010.
- [11] Wikipedia, «Lazer,» 15 3 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Lazer>.

- [12] A. T. Kurt, «electrologs,» 27 12 2017. [Çevrimiçi]. Available: <https://electrologs.com/2017/12/27/lazerlazerin-calisma-prensibi-ve-lazer-cesitleri/>. [Erişildi: 10 5 2021].
- [13] M. Derrick, D. Stulik ve J. Landry, *Scientific Tools For Conservation - Infrared Spectroscopy in Conservation Science*, Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1999.
- [14] «Wikipedia,» [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode. [Erişildi: 25 3 2021].
- [15] «Byjus,» [Çevrimiçi]. Available: <https://byjus.com/physics/light-emitting-diode/>. [Erişildi: 25 3 2021].
- [16] M. Khader ve S. Cherian, «An Introduction to Automotive LIDAR,» Texas Instruments.
- [17] D. Wang, C. Watkins ve H. Xie, «MEMS Mirrors for LiDAR: A Review,» *MDPI Open Access Journal*, 20 4 2020.
- [18] A.-F. Pelé, «CEA-Leti Goes For Optical Phased Arrays to Cut LiDAR Cost,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.eetimes.eu/cea-leti-goes-for-optical-phased-arrays-to-cut-lidar-cost/>. [Erişildi: 25 3 2021].
- [19] M. Dahlem, «Optical Phased Arrays for Automotive Solid-State Lidar Systems,» %1 içinde *EPIC Meeting on LiDAR Technologies for Automotive*, Eindhoven, 2019.
- [20] D. J. H. M. P. J. D. M. B. J. C. L. B. J. Hulme JC, «Fully integrated hybrid silicon two dimensional beam scanner,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.osapublishing.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-23-5-5861>. [Erişildi: 02 04 2021].
- [21] C. Galle, «LiDAR - Solutions for Automotive and Industrial Applications,» Forschungsfabrik Mikroelektronik, [Çevrimiçi]. Available: https://www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de/en/Range_Of_Services/Applications/Transport_and_Smart_Mobility/lidar.html. [Erişildi: 05 04 2021].
- [22] «Leddartech Sight,» Leddartech, [Çevrimiçi]. Available: <https://leddartech.com/solutions/leddar-sight/>. [Erişildi: 15 5 2021].
- [23] Y. Li ve J. Ibanez Guzman, «Lidar for Autonomous Driving: The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems,» *IEEE Signal Processing Magazine*, no. 37, pp. 50-61, 2020.

- [24] T. Sarl, «Comparison of LiDAR Technologies Regarding Automotive Requirements,» Tematys , 2018.
- [25] C. Altuntaş, «Uçuş zamanlı Üç Boyutlu Ölçme Teknikleri ve Flash LiDAR,» %1 içinde *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 18. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 2021.
- [26] «Blackmore Announces the World’s First Doppler Lidar for Autonomous Fleets,» Businesswire, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20190108005293/en/Blackmore-Announces-the-World%E2%80%99s-First-Doppler-Lidar-for-Autonomous-Fleets>. [Erişildi: 15 5 2021].
- [27] N. George, «Cloudfactory,» 21 10 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://blog.cloudfactory.com/interesting-lidar-applications>. [Erişildi: 20 6 2021].
- [28] S. Microelectronics, *VL53L1X Datasheet*, 2018.
- [29] Pololu, Pololu, 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.pololu.com/product/3415>. [Erişildi: 25 6 2021].
- [30] S. Microelectronics, *UM2356 User Manual*, 2018.
- [31] A. Corporation, *Atmega328P Datasheet*, Kaliforniya, 2015.
- [32] «Slip Ring with Flange,» Adafruit, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1196#technical-details>. [Erişildi: 30 5 2021].
- [33] «Magnetoresistive Sensor ICs SM351LT/SM353LT,» Honeywell Inc., [Çevrimiçi]. Available: https://cdn.ozdisan.com/ETicaret_Dosya/602607_242086.PDF. [Erişildi: 25 3 2021].
- [34] NiceCircuits, «Github,» 16 11 2015. [Çevrimiçi]. Available: https://github.com/NiceCircuits/modules_from_china. [Erişildi: 10 4 2021].
- [35] C. Sürmeli ve A. K. Mutlu, *I2C Haberleşme Protokolü*, İstanbul: Kodlab Yayınevi,, 2015.
- [36] H. AKAY, *Kitap*, İstanbul: FSMVÜ, 2019.

EKLER

EK-1: ARDUINO IDE KODU

```
#include <Wire.h>
#include <VL53L1X.h>

int HALL = 2;
float angle = 0;
float data = 0;
int flag = 0;
long old_millis = 0, new_millis = 0;
bool timer_flag = 0, active = 1;

VL53L1X sensor;

void setup()
{
  pinMode(7,OUTPUT); // IN
  pinMode(6,OUTPUT); // -SD
  pinMode(14,INPUT); //BUTON
  pinMode(HALL,INPUT); //HALL EFFECT

  digitalWrite(7,HIGH);
  analogWrite(6, 48);
  delay(1000);
  analogWrite(6, 30);

  Serial.begin(115200);

  Wire.begin();
  Wire.setClock(400000);

  sensor.setTimeout(500);
```

```

if (!sensor.init())
{
  Serial.println("Failed to detect and initialize sensor!");
  while (1);
}

sensor.setDistanceMode(VL53L1X::Short);
sensor.setMeasurementTimingBudget(20000);

sensor.startContinuous(20);

old_millis = millis();

}

void loop()
{
  if(digitalRead(HALL) == 0 && angle != 0 && flag == 0)
  {
    angle = 0;
    flag = 1;
  }

  new_millis = millis();

  if((new_millis - old_millis) >= 50)
  {
    timer_flag = 1;
    old_millis = new_millis;
  }

  if(timer_flag == 1)
  {

```

```
timer_flag = 0;

data = sensor.read();
if (sensor.timeoutOccurred()) { Serial.print(" TIMEOUT"); }

if(active == 1)
{
  angle = angle + 3.6;

  Serial.print(angle);
  Serial.print(",");
  Serial.print(data);
  Serial.println(",");

  if(angle > 100.0)
    flag = 0;
}
}
```

EK-2: PROCESSING KODU

```
import processing.serial.*;
Serial myPort;
String myString = null;
float x=0 ,y=0 ,angle=0;
float angleData=0;
float distanceData=0;

void setup()
{
  size(1500, 1000);
  noSmooth();
  background(0);
  translate(410, 410);
  stroke(255);
  strokeWeight(3);

  String portName = Serial.list()[0];
  myPort = new Serial(this, portName, 115200);
}

void draw()
{
  while (myPort.available() > 0)
  {
    myString = myPort.readStringUntil(10);

    try
    {
      if (myString != null)
      {
        String[] q = splitTokens(myString, ",");
        angleData=float(q[0]);
      }
    }
  }
}
```



```

distanceData = float(q[1]);

angle = angleData * 0.01744;
x = (sin(angle)*distanceData + 600);
y = (cos(angle)*distanceData + 500);

}

if(angleData == 3.6 )
{
background(0);
translate(600, 500);
}

strokeWeight(6); // Thicker
stroke(255,255,255);
point(x, y);
}
catch(Exception e)
{
//println(e, "HATA");
}
}

myPort.clear();
}

```