T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NESNE TAKİPLİ OTONOM ROBOT PROTOTİPİ TASARIMI

Yunus Emre BAYGELDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Yüksek Lisans Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Lale ÖZYILMAZ

Temmuz, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NESNE TAKİPLİ OTONOM ROBOT PROTOTİPİ TASARIMI

Yunus Emre BAYGELDİ tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 22.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Yüksek Lisans Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Lale ÖZYILMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Lale ÖZYILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Burcu ERKMEN
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Mehmet SAĞBAŞ
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Lale ÖZYILMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Nesne Takipli Otonom Robot Prototipi Tasarımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yunus Emre BAYGELDİ

İmza

TEŞEKKÜR

Tez aşamasının başından sonuna kadar sağladığı değerli katkılarıyla imkansızlıklar dahilinde dahi desteğini esirgemeyip bana olan inancını her daim gösteren kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Lale Özyılmaz'a ve tezin ilerleme aşamasında yaptığı yönlendirmeler ve manevi desteklerinden dolayı Doç. Dr. Özgür Turay Kaymakçı'ya ve giriş yaptığım ilk günden beri Yıldız Teknik Üniversitesi'ni benim için her daim gitmek istediğim sıcak bir yuvaya dönüştüren tüm öğretim üyelerine, öğretim görevlilerine ve personellere en derin teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tüm hayatım boyunca tam bir güven dahilinde her eylemimde arkamda duran babam Hüseyin Baygeldi, annem Leman Baygeldi ve kardeşim Gamze Nur Baygeldi'ye de teşekkür ederim. Alabildiğim bu derecenin ve mutluluğumun mimari onlardır.

Son olarak özellikle lisansüstü eğitimim boyunca büyük yardımcım olan, maddi manevi hiçbir desteğini esirgemeyen değerli ağabeyim, saygıdeğer meslektaşım Mehmet Kosova'ya, lisansüstü eğitimde kader yoldaşlığımızla çalışmalarımızda birbirimize destek olduğumuz Mehmet Uzun'a, her zorlu aşamada desteğini esirgemeyen kardeşim Kamil Kaya'ya ve manevi olarak desteğini esirgemeyen küçük kardeşimiz Tunç Cenk Ergüven'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yunus Emre BAYGELDİ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

1 Giriş 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 3

1.3 Hipotez 3

2 Görüntü İşleme 5

2.1 Görme 5

2.2 Görüntü 7

2.3 Bilgisayarla Görme 9

2.4 Renk Uzayları 11

2.5 Parlaklık ve Karşıtlık, 13

2.6 Histogram 14

2.7 Morfolojik İşlemler 17

2.8 Kenar Çıkarma 28

3 Kullanılan Yazılım ve Donanım 37

3.1 Raspberry Pi Model 3 B+ 37

3.2 Raspberry Kamera v1 41
3.3 Optokuplör 45
3.4 L298N Çift Köprülü Motor Sürücü Entegresi 46
3.5 Motor 50
3.6 Raspbian İşletim Sistemi 53
3.7 OpenCV 58
4 Donanım Tasarımı **64**
5 Yazılım Tasarımı **69**
6 Sonuç ve Öneriler **77**
Ek A: TLP281-4 Optokuplör Verileri **80**
Ek B: L298N Motor Sürücü Entegre Devresi Verileri **83**
Ek C: Raspberry Kamera V1 Verileri **85**
Ek D: Detaylı Yazılım Algoritma Akışı **87**
Kaynakça **88**
Tezden Üretilmiş Yayınlar **92**

SİMGE LİSTESİ

$\in$	Elemanıdır
$\notin$	Elemanı Değildir
$\subseteq$	Alt Küme
$\cap$	Kesişim
$\oplus$	Genişleme İşlemi
$\ominus$	Erozyon (Aşındırma) İşlemi
$\emptyset$	Boş Küme
A^c	A Kümesinin Tümleyeni
Ω	Ohm
V_s	Besleme Gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

2D	İki Boyutlu
3-D	Üç Boyutlu
bpp	Piksel Başına Bit Sayısı
CCD	Yük Bağlaşımlı Aygıt
CCW	Saat Yönünün Tersi
CdS	Kadmiyum Sülfit
CdSe	Kadmiyum Selenit
CMOS	Tümler Metal Oksit Yarıiletken
CPU	Merkezi İşlemci Birimi
CSI	Kamera Seri Arayüzü
CW	Saat Yönü
dB	Desibel
DC	Doğru Akım
DOF	Serbestlik Derecesi
EEPROM	Elektronik Olarak Silinebilir Programlanabilir Rom
EMI	Elektromanyetik Girişim
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EN	Etkinleştirme
fps	Saniyedeki Görüntü Karesi Sayısı
GB	Gigabayt
GHz	Gigahertz

GND	Toprak
GPIO	Genel Amaçlı Giriş Çıkış
HSV	Ton Doygunluk Değer
I/O	Giriş Çıkış
IN	Giriş
IoT	Nesnelerin İnterneti
IPP	Entegre Performans İlkeleri
LED	Işık Yayıcı Diyot
LiDAR	Işık Tespiti ve Ölçümü
Mb	Megabayt
MHz	Megahertz
MOS	Metal Oksit Yarıiletken
NMOS	N-tip Metal Oksit Yarıiletken
OCR	Optik Karakter Tanıma
OUT	Çıkış
PC	Kişisel Bilgisayar
PoE	Ethernet Üzerinden Güç
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
RGB	Kırmızı Yeşil Mavi
RPM	Dakikada Tur Sayısı
SCR	Silikon Kontrollü Doğrultucu
SoC	Çip Üzerinde Sistem
TTL	Transistörden Transistöre Lojik
USB	Evrensel Seri Hat
Wi-Fi	Fall Risk Index
YCbCr	Işık Şiddeti, Mavi Kroma, Kırmızı Kroma

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Elektromanyetik Dalga Boyları [15] 6
Şekil 2.2 Analog Sinyalin Dijital Görüntüye Dönüşümü [16] 7
Şekil 2.3 Görüntü Piksellerinin Yerleşimi Olan Temel Matris [17] 8
Şekil 2.4 Görüntüdeki Matris Yapısı [17] 9
Şekil 2.5 Örnek Bir Tanımlama Uygulamasında Elde Edilen Çıktı [20] 10
Şekil 2.6 RGB Renk Uzayı için Örnek Bir Görüntü [21] 11
Şekil 2.7 Gri Seviye Renk Uzayı için Örnek Bir Görüntü [21] 12
Şekil 2.8 İkili Renk Uzayı için Örnek Bir Görüntü [21] 12
Şekil 2.9 Farklı Parlaklık Değerleri için Örnekleme 13
Şekil 2.10 Farklı Parlaklık Değerleri için Örnekleme 14
Şekil 2.11 Histogram Eşitlenmesi için Bir Örnek [24] 15
Şekil 2.12 Histogram Grafiğine Göre Eşikleme Yapılmış Görüntü [25] 17
Şekil 2.13 Görüntüye Maskeyle İşlem Uygulanması 18
Şekil 2.14 Maskenin Görüntü Dışına Taşma Durumu 19
Şekil 2.15 Örnek Yapı Elemanları [17] 19
Şekil 2.16 Matematik Morfolojiye Göre Görüntü Analizi 20
Şekil 2.17 Birleşim, Kesişim, Tümleyen Fark İşlemleri [17] 21
Şekil 2.18 Öteleme ve Yansıma İşlemleri [17] 22
Şekil 2.19 Genişleme: (a) A Kümesi (B) Kare Yapı Elemanı (nokta merkezdir) 23
Şekil 2.20 Erozyon: (a) A Kümesi (b) Kare Yapı Elemanı (c) A kümesinin B ile Aşınması. (d) Uzun Yapı Elemanı (e) Uzun Yapı Elemanı Kullanarak A'nın Aşındırılması [17] 24
Şekil 2.21 Açma ve Kapama: A Kümesi, Disk Yapısı Elementi B, Erozyon, ... 25
Şekil 2.22 Morfolojik Kenar Çıkarma İşlemi [26] 26
Şekil 2.23 Morfolojik Bölge Doldurma [26] 27
Şekil 2.24 Bağlı Bileşenlerin Morfolojik Çıkarımı [27] 28
Şekil 2.25 Canny Operatörü Tarafından Kenar Çıkarımı Yapılmış Bir Görüntü [31] 34
Şekil 2.26 Hough Dönüşümü Terimlerinin Geometrik Gösterimi 35

Şekil 2.27 Görüntüdeki Kenar Sınırının Hough Dönüşümüne Uğraması 36
Şekil 3.1 Sistemde Bulunan Broadcom BCM2837B0 SoC [34] 38
Şekil 3.2 CYW43455 WiFi Yongası [34] 39
Şekil 3.3 LAN7515 Yongası [34] 39
Şekil 3.4 Raspberry Pi Model 3 B+ [34] 40
Şekil 3.5 Raspberry Pi Model 3 B+ GPIO Pinleri [36] 40
Şekil 3.6 CMOS Sensör [39] 42
Şekil 3.7 Bayer Filtre Çalışma Mantığı [41] 43
Şekil 3.8 Raspberry Kamera v1 ve Bağlantı Şekli [34] 44
Şekil 3.9 OV5647 İç Yapısı [42] 45
Şekil 3.10 Fototransistör Optokuplör İç Yapısı Örneği [43] 45
Şekil 3.11 L298N İç Yapısı Blok Diyagramı [44] 47
Şekil 3.12 L298N Pin Diyagramı [44] 47
Şekil 3.13 Örnek Bir H Köprüsü Yapısı 49
Şekil 3.14 Örnek Permanent Magnet DC Motor [46] 50
Şekil 3.15 Redüktörlü DC Motor [46] 51
Şekil 3.16 Bir DC Motorun Devir-Verim-Tork-Güç Grafiği [47] 52
Şekil 3.17 Raspbian Online Uygulama Mağazası 54
Şekil 3.18 Raspbian Terminal Penceresi 55
Şekil 3.19 Raspbian OpenCV Kurulum Penceresi 56
Şekil 3.20 Raspbian Terminalinde Raspberry Pi GPIO Pinlerinin Görünümü 57
Şekil 3.21 Raspbian Masaüstü Görünümü 57
Şekil 3.22 OpenCV C++ Arayüzü 58
Şekil 3. 23 OpenCV Python Arayüzü 59
Şekil 3.24 OpenCV Bileşenleri ve Alt Kütüphaneler 60
Şekil 4.1 Tasarlanan Devrenin Şematik Çizimi 65
Şekil 4.2 TLP 281-4 İç Yapısı [43] 65
Şekil 4.3 H Köprüsü ile Bir Yönde Motor Sürme Örneği 67
Şekil 5.1 Yazılan Kodun Algortmik Akış Şeması 69
Şekil 5.2 Ton için RGB'nin Karışmı 72
Şekil 5.3 Tonların Solgunluk Yönü 72
Şekil 5.4 Tonların Doygunluk Yönü 73
Şekil 5.5 Tonlar için Değer Ekseni 73

Şekil 5.6 HSV Kavramı 74
Şekil 6.1 YCbCr Maskesi ile Bitwise OR İşlemine Sokulmuş Sırasıyla H, S, V Bileşenleri 77
Şekil 6.2 Elde Edilen Bileşenlerin İkili Görüntülere Dönüştürülmesi 78
Şekil 6.3 İkili Görüntülerin Birleşimi ve Cismin Merkezinin Belirlenmesi 78
Şekil 6.4 Gerçeklenen Robot 79

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Kontrol Modu ve A Motorunun Durumu için İç Yapıya Göre Mantık Tablosu 48

ÖZET

Nesne Takipli Otonom Robot Prototipi Tasarımı

Yunus Emre BAYGELDİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Lale ÖZYILMAZ

Bu çalışmada bilgisayarla görme tabanlı bir prototip robotun istenen renkteki nesneyi tanıyarak takip etmesi amaçlanmıştır. Otonom araçlar konusunda prototip olması planlanan robot gelecek çalışmalar için temel olması amacıyla tasarlanmıştır.

Tasarlanan robotun güvenlik, keşif, gözlem alanının yanısıra askeri malzeme taşıma uygulamaları, doğal afetlerde tanımlanacak bölgeye insansız ulaşabilme amaçları için yapılacak çalışmalarda da kullanılabilmesi için özelleştirilebilir olması amaçlanmıştır.

Diğer çalışmalara nazaran algılayıcı donanım olarak sadece kamera kullanılması amaçlanmıştır. Robot, sadece kamera kullanılarak diğer mesafe veya renk algılayıcı sensörlere ihtiyaç duymadan yaklaşma mesafesini ayarlayabilecek algoritmaya sahiptir.

Tasarlanan robot için yapılan çalışmalar yazılım tasarımı ve kodlanması, donanım tasarımı ve gerçeklenmesi, mekanik olarak şasinin tasarlanarak üç boyutu yazıcı ile oluşturulması olarak üç farklı disiplin çalışmasını içerir.

Donanım için Raspberry Pi tek kart bilgisayarın yanısıra motor sürücüsü olarak L298N ve devre izolatörü olarak TLP281-4 optokuplör kullanılmış. Motor olarak redüktörlü DC motorlar seçilmiştir.

Yazılım kısmında ise Raspberry Pi üstünde çalışan Raspbian İşletim Sistemi'ne kurulan OpenCV kütüphanesi ve Python yazılım dili kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nesne takip, otonom robot, prototip, raspberry pi, opencv

ABSTRACT

Design of Autonomous Robot Prototype with Object Tracking

Yunus Emre BAYGELDİ

The Department of Electronics and Communications Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Lale ÖZYILMAZ

In this study, it is aimed to follow a computer vision based prototype robot by recognizing the object of the desired color. The robot, which is planned to be a prototype for autonomous vehicles, is designed to be the basis for future studies.

The robot is intended to be customizable so that it can be used for safety, exploration, observation and military material handling applications, as well as for the purposes of unmanned access to the region to be defined in natural disasters.

In comparison to other studies, it is intended to use only cameras as sensor hardware. The robot has the algorithm to adjust the approach distance without the need for other distance or color sensors.

Works for the designed robot is including three different disciplines as software design and coding, hardware design and implementation, the mechanical design of the chassis and printing it by 3D printer.

In addition to the Raspberry Pi single card computer for hardware, L298N as the motor driver and TLP281-4 optocoupler as circuit isolator are used. Geared DC motors are selected as motors.

In the software part, the OpenCV library installed on the Raspbian Operating System and the Python software language was used.

Keywords: Object tracking, autonomous robot, prototype, raspberry pi, opencv

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Francisco M. Lopez ve Federico Cuesta 2016 yılında robotik sistemler eğitimi için iç mekanlarda kullanılabilecek düşük maliyetli bir robot tasarladı. Android bir cihazdan yönlendirilen Arduino bir kart üzerine tasarlanan bu robot, modüler, genişletilebilir ve internet bağlantısı desteğine sahipti [1].

Telepresence robotlar için yoğun bir basit hesap akışı gerekmektedir. Bu gerekliliği karşılamak amacıyla Ibari Benaoumeur ve arkadaşları 2016 yılında odometri tabanlı Arduino ile oluşturulan bir robot geliştirdi. Geliştirilen robot telepresence robota ultrasonik sensörlerin başarılı bir şekilde entegre edilebileceğini gösterdi. Robot, engellerden kaçarak hedefe ulaşabilmekteydi [2].

Akec, Steiner ve Stenger tasarladıkları 6 eksenli robot kolunun ucuna yerleştirdikleri kameradan alınan görüntüyü işleyerek konveyör bantın üzerinde bulunan kıvrımlı yolu takip ettirmişlerdir [3].

Kert, kameradan alınan görüntülere uyguladığı görüntü işleme teknikleri ile cismin şeklen tanınmasını sağlamıştır. Çalışmasında model aldığı şekil ise dairedir. Genetik algoritma metoduyla tanımlanan şeklin 3 boyutlu koordinat bilgisi optimize edilmiştir. Sonuçların aktarıldığı robot kolunun koordinat bilgisine göre cisimleri sırayla alma işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir [4].

Çiçek, bir ortamda bulunan malzemeleri kırmızı, yeşil veya mavi renkte olmasına göre ayırt eden ve tanıyan bir endüstriyel robot kolu tasarımı yapmıştır. Yapılan robot 5 eksene sahiptir. Yapılan çalışmada renk ayrımı renk sensörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. [5].

Anh ve Song, robot koluna bağlanan kamera ile hareket halindeki cisimlerin yakalanmasını amaçlamışlardır. Cisimlerin robot tarafından tanımlanabilmesi için bir yüzey üzerinde olmaları gerekmektedir. Kullanılan görüntü işleme algoritması ise görüntünün içerdiği karelerin zamansal farklarına dayanmaktadr. Kareler arasındaki fark neticesinde cismin konumu belirlenmeye çalışılmıştır [6].

Huang, yatay olarak hareket eden bir robot kolu yardımıyla görüntüleri alınmış ve şekilleri belirlenmiş nesnelerin içinden dairesel olanları alarak konumunu değiştirmeyi başarmıştır [7].

Ali ve arkadaşları, nesneleri görüntü işleme yardımıyla şekilsel olarak tanıyabilmişlerdir. Bu çalışmada sadece bir şekil değil, kare, dikdörtgen, çember gibi geometrik şekillere sahip farklı cisimleri tanıtabilmişler ve robotun bu cisimlere yer değiştirtmesini sağlamışlardır [8].

Karakkoç, Öztürk ve Kumcan, Raspberry Pi kullanarak cisimlerin renk özelliğinden faydalanarak nesne takibi yapmayı amaçlamışlardır. Görüntü işleme kısmında temel morfolojik işlemler kullanılmıştır. Çıkan sonuçtaki gürültünün giderilmesi için medyan filtre kullanılmıştır. Cismin merkezine göre yapılacak takibe istinaden robotun kontrol uygulaması için ise PID kontrol yöntemi kullanılmıştır [9].

Emarose, Ranganathan, Siranjeevi ve Sugadev, iç mekan servis işlemlerini gerçekleştirmek için düşük maliyetli görsel güdümlü bir robot geliştirdi. Robot, ilgilenilen nesneyi izlemek ve konumunu belirlemek için bir web kamerası kullanır ve bir ultrasonik sensör, robotla nesne arasındaki mesafeyi tahmin etmek için kamerayla birlikte kullanılır. Çalışma alanındaki nesneleri hareket ettirmek için robota 3 DOF (Degrees Of Freedom-Serbest Hareket Açısı) robot kolu monte edilmiştir. Robot farklı aydınlatma koşullarında çalışabilir. Sürekli izleme için nesne ve robot arasında görsel geri bildirim döngüsü oluşturulur [10].

Chelva, Halse ve Ratha, Gömülü sistem üzerinde alınan RGB görüntüyü gri seviye görüntüye dönüştürerek ve morfolojik işlemlerle medyan filtre uygulayarak görüntüde cisim varlığı olup olmadığını araştırmışlardır. Görüntüde cisim bulunması halinde robota hareket emri veren yazılım geliştirmişlerdir [11].

Deasung Jeon, Chung-kyeom Kim ve Jaehwan Ki, engelli ve yaşlı insanların hareketliliğini artırmak için tasarlanmış kişisel bir mobilite platformu oluşturmuşlardır. Platform engelleri algılamak amacıyla nesne izleme sistemine sahiptir. Sistem, belirli bir hedefi sürekli olarak tespit etmek için iki adımı izler. İlk adım bir kişiyi hedef olarak belirlemektir. Bu adımda, bir nesne aracın yakınında belirli bir alanın içine konumlanırsa, sistem onu hedef olarak algılar. Bir sonraki adım, araç ve hedef arasındaki mesafeyi ve yönü hesaplamaktır. Bu bilgi, izleme sistemine verildiğinde, araç, aralarında sabit bir mesafe tutmak amacıyla nesneyi takip etmektedir. Araç, sırasıyla sağ ve sol tarafında bulunan iki LiDAR (lazer sensör) sensörüyle donatılmıştır [12].

1.2 Tezin Amacı

Teknolojinin gelişimiyle beraber elde bulunan yazılım ve donanım imkanları daha verimli ve işlevli kullanılmaktadır. Gelişen kullanım alanı ve fonskiyonlarıyla teknoloji, her zaman olduğu gibi insana ait zorunluluk ve görevlerin makineler tarafından yapılması amacına hizmet etmektedir.

Yapılacak hizmetlerin başında otonom yani insansız makineler başı çekmektedir. Son yıllarda yapılan atılımlarla otonom araçlar gibi konularda deneysel ürünler piyasaya sunulmuştur. Otonom makinelerin yaygınlaşması ve bu makineler için standartların oluşturulması, güvenlik kataloglarının tasarlanması zaman alacaktır.

Bu tezde ise üzerindeki kameradan aldığı görüntüleri görüntü işleme marifetiyle nesne tanıma işlevinde kullanan ve tanıma sonuçlarına göre insansız sürüş gerçekleştirebilen bir robotun tasarımı ve gerçeklenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Literatürde bulunan çalışmalarda görüldüğü üzere robotlarda otonom işlemlerin görüntü işleme teknikleri ile yapılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda konvensiyonel morfolojik işlemlerle şekilsel bağlamda cisim tanıma çalışmaları yapılmıştır.

Bu tezde sunulan çalışmada gelişen teknolojide kullanılmaya başlanan HSV (hue, saturation, value – ton, doygunluk, değer) ve YCbCr (Luminance ChromaBlue

ChromaRed – Işık Şiddeti, Mavi Kroma, Kırmızı Kroma) renk uzayları görüntü işlemede temel anlayışı oluşturmuştur.

Gri seviye resimlerin ikili resimlere çevrilerek şekilsel tanıma anlayışından ziyade istenen cismin renk bilgisinin işlemlere eklenerek şekil bilgisinin renk bilgisinden çıkarılarak konvensiyonel morfolojik işlemlerde yakalanan tanıma yüzdesinin artırılması amaçlanmıştır.

Renk içeren piksellerin HSV veYCbCr uzaylarındaki istenen renge özel maskelerle tanınarak sınırların belirlenmesi, gri seviye resimlerden ikili resme geçilmesiyle belirlenen sınırlardan daha net bir sınır tanımı vermektedir.

HSV ve YCbCr maskeleri birlikte kullanılarak tanınan cisim bilgisinin ekrandaki pozisyonuna göre hareket eden motorlarla otonom bir robot oluşturulabilir.

2
Görüntü İşleme

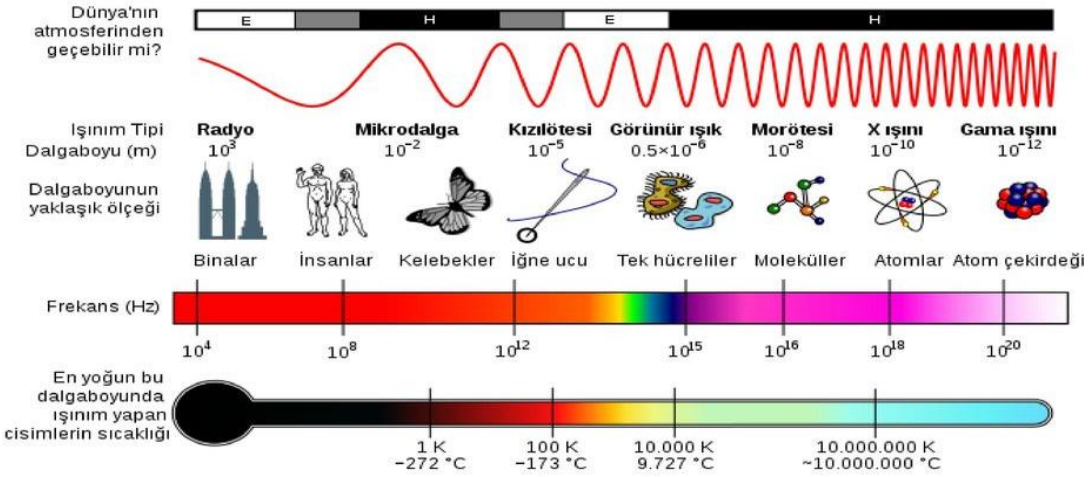
2.1 Görme

Veri işleme teknolojisi son yarım yüzyılda büyük bir hızla eksponansiyel bir biçimde gelişmiştir. Görüntü işlemedeki kolaylık bilgisayarların ve entegrelerin boyutlarının küçülmesi ve ucuzlamasıyla elde edilmiştir. Kullanılacak kaynakların ulaşılabilir olması ve ucuzlaması sebebiyle konu üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır. Kapasite gelişimi en önemli faktördür. 1,2 Mb büyüklüğünde bir disketin çok pahalı olduğu dönemlere kıyasla hem depolama hem de saklama konusunda veri işlemede çağ atlanmıştır ve çalışmaların özüne yoğunlaşmak daha da kolaylaşmıştır.

İnsanların görüntü algılama sistemi bilgisayarlı görü açısından düşünüldüğünde görüntüyü yakalayarak işleme, analiz etme ve gruplama gibi işlemler için bilinen en karmaşık sistemdir. İnsandaki görme sisteminin başlıca önemli bileşeni elbette gözlerdir. Işığın algılanabilir dalga boyları gözler vasıtasıyla algılanır. Elektromanyetik dalga boylarından belli bir aralıktaki spektrumu insan gözleri algılayabilir. Diğer canlı gruplarında ise görülebilir bu spektrum aralığı değişebilir. Şekil 2.1'de elektromanyetik dalgaların özellikleri verilmiştir [13].

Beyin görülebilen aralıktaki elektromanyetik dalgaları algıladığında yorumlanabilir görüntüye dönüştürür. Gözler optik sinirler, mercek, retina ve kornea gibi bileşenleri sayesinde odaklama yeteneğine sahiptir. Mercek ve göz bebeği kaslarla göze giren ışığın ayarlanmasını sağlar. Parlaklık adaptasyonu gözlerin farklı karşıtlıklara adapte olabilmesine, karşıtlık duyarlılığı ise farklı parlaklık düzeyleri arasında ayrım yapabilmesine denir [14].

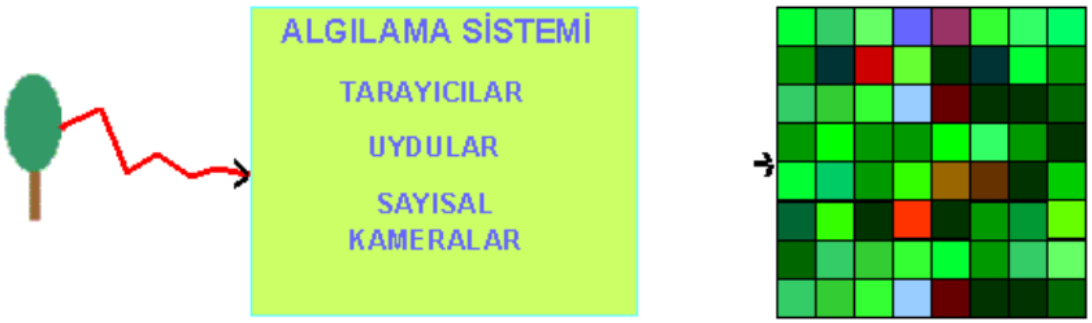
ELEKTROMANYETİK DALGALAR



Şekil 2.1 Elektromanyetik Dalga Boyları [15]

Bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasından sonra bilim insanları gözün görme yeteneğini bilgisayarlı sistemlere kazandırmayı amaçlamıştır. Önce analog sonrasında ise dijital kameralar bu amaç için yapılmış en iyi örneklerdir. Zamanla sadece görüntüyü bilgisayar yardımıyla almanın yeterli olmadığı dile getirilmiştir. Hayatı kolaylaştırmak ve teknolojik ilerleme adına elde edilen görüntü ile matematik işlemler yapılarak görüntüyü anlama metotları üzerinde çalışılmıştır.

Elde edilen görüntüler işlenebilmeleri ve değerlendirilebilmeleri için dijital ortama uygun hale getirilmelidir. Görüntüler sayısallaştırılarak istenilen ham veri elde edilebilir. Sayısal görüntü denildiğinde görüntüsü alınan alandan yayılan analog elektromanyetik görünür dalgaların dijital sinyale dönüştürülerek işlenmesi anlaşılabilir. Şekil 2.2'de analog görüntünün dijital görüntüye dönüşümü temsili gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Analog Sinyalin Dijital Görüntüye Dönüşümü [16]

2.2 Görüntü

Görüntünün temel elemanı piksellerdir. Piksel, İngilizce pixel olarak geçmektedir ve "picture element" tabirinin kısaltılmışıdır. Dijital görüntü ise piksel denilen bileşenlerden oluşan MxN boyutlarında matristir [17].

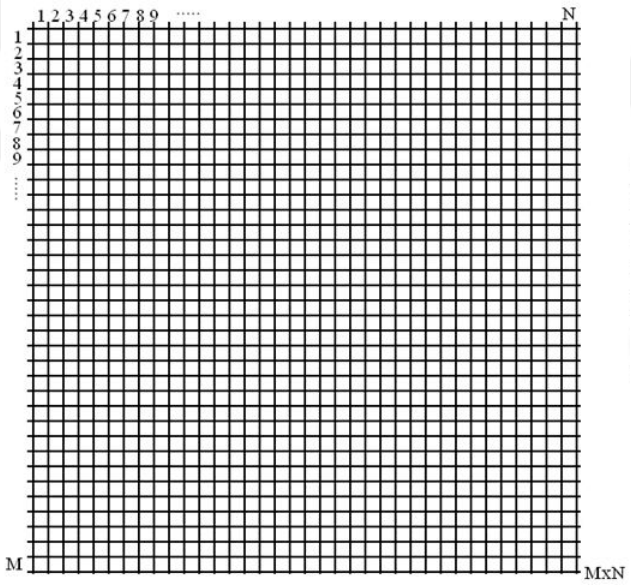
Görüntüler de bir takım ışık dalgalarının cisimlerden yansımasıyla oluşan olgulardır. Işık dalgaları ile ilgili bir konu olması sebebiyle görüntünün iki türünden bahsedilebilir. Bunlar analog ve sayısal (dijital) görüntülerdir.

Analog (sürekli) görüntü dijital görüntüde olduğu gibi ayrık zamanlarda gelen sinyallerle oluşan görüntünün aksine sürekli gelen sinyallerle oluşan görüntüyü ifade eder. Sürekliliği olan bu veri biçimi kaynağındaki biçimiyle saklanabilir ve kaydedilebilir. Reel şartlarda sayısal olarak ifade edilemeyen tüm görüntüler analog görüntülerdir. Günlük yaşantıda canlıların görme sistemiyle algılanan görüntülerin kaynağı ve sinyali analog olarak alınır, analog olarak işlenir. Buna en iyi örnek ise bilgisayar ekranında görünen görüntüler grafik işlemcilerle dijital olarak üretilip iletilirken, bilgisayarın kendi görüntüsü ise analog görüntüdür.

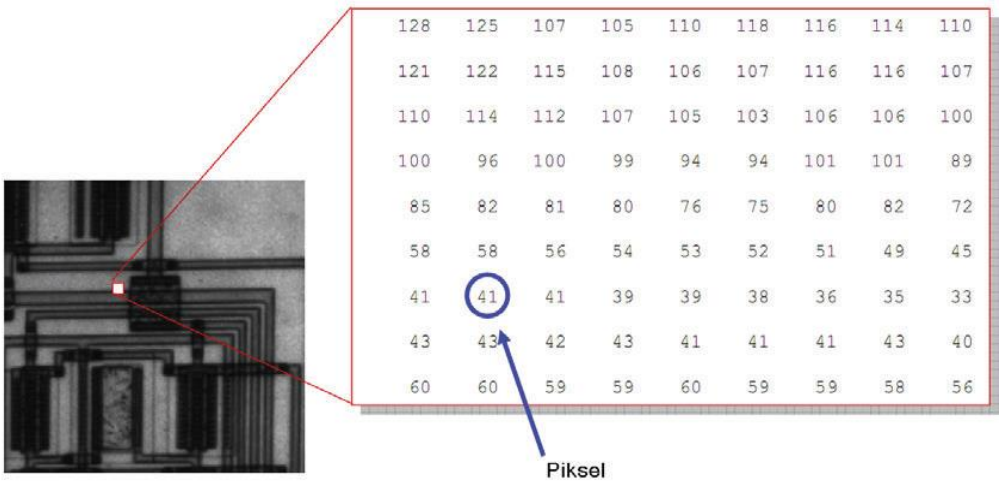
Sayısal (ayrık) görüntü; doğal görüntülere ait analog sinyallerin dijital sinyale dönüşümünü yapacak elektronik araçlar sayesinde dönüştürülmesi neticesinde elde edilen ayrık verilerin bir matris dizilimi oluşturulmasıyla elde edilen görüntülerdir. Analog görüntüler de saklanırken sayısallaştırılabilir. Haliyle dijital görüntüler de saklanabilir ve kaydedilebilir.

Sunulan tezde uygulanan işlemler sayısal görüntüler üzerine oluşturulmuştur. Sonraki başlıklarda ve kısımlarda verilecek bilgiler ve anlatımlar sayısal görüntüler için olacaktır.

Sayısal görüntüler piksel olarak tabir edilen elemanların MxN boyutunda matris düzeninde dizilimiyle oluşması sebebiyle matematiksel olarak iki boyutlu bir f(x, y) fonksiyonu ile ifade edilebilir. Sayısal görüntülerin önce de belirtildiği üzere ayrık zamanlı verilerden oluşması sebebiyle sayısal görüntüyü oluşturan pikseller arasında herhangi bir bağ bulunmamaktadır. Görüntü bütünlüğü, birbirinden farklı piksellerin çok hızlı bir şekilde arka arkaya gösterimiyle meydana gelir. Sayısal görüntüleri ifade eden f(x, y) sayısal fonksiyonunda x, y değerleri görüntü piksellerinin uzay düzlemde konumlarını işaret etmektedir. f fonksiyonu ise (x, y) noktasındaki pikselin yoğunluğu (intensity) ya da gri seviyesi olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.3'te pikseller için örnek yerleşim matrisi, Şekil 2.4'te ise görüntü üzerinde piksel yerleşimini göstermektedir [17].



Şekil 2.3 Görüntü Piksellerinin Yerleşimi Olan Temel Matris [17]



Şekil 2.4 Görüntüdeki Matris Yapısı [17]

2.3 Bilgisayarla Görme

Bilgisayarla görme, mühendislik perspektifinden bakıldığında, insan görsel sisteminin yapabileceği görevleri bilgisayarlar ve yazılımlar aracılığıyla yapmak isteyen disiplinler arası bir alandır. Görüntü verileri, video dizileri, çoklu kameralardan görünümler veya tıbbi bir tarayıcıdan çok boyutlu veriler gibi birçok form üzerinde bilgisayarla görme konusunda çalışmalar yapılabilir.

1960'lı yılların sonunda yapay zekanın öncüsü olan üniversitelerde bilgisayarla görme konusunda çalışmalara başlandı [18]. 1966'da, bir bilgisayara bir kamera bağlanmasıyla "ne gördüğünü tarif etmesini" sağlayacak bir proje hazırlandı. Bu projeyle canlılara haiz olan görüntüden anlamlı bilgi çıkarılması işleminin gerçekleştirilebileceği düşünülüyordu [19].

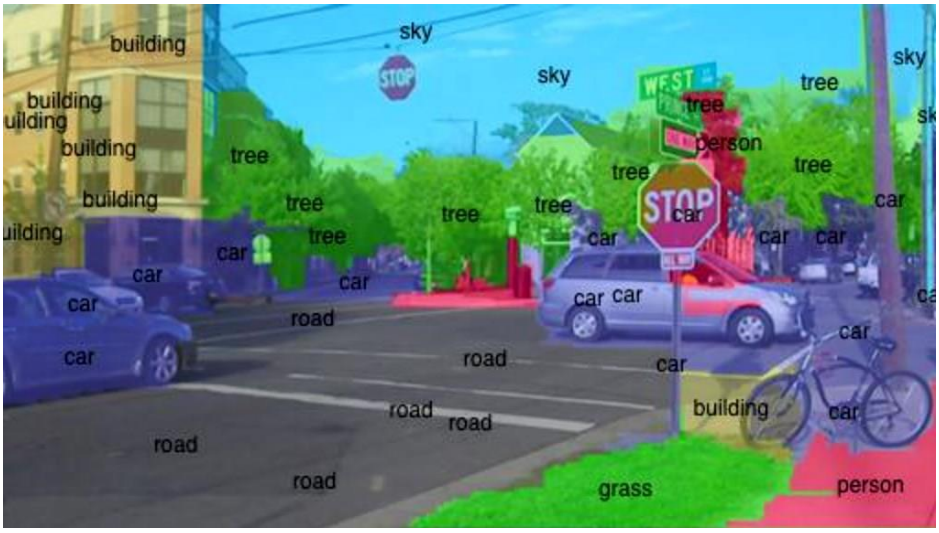
Sonraki on yılda daha titiz matematiksel analize ve bilgisayarlı görmenin nicel yönlerine dayanan çalışmalar yapıldı. Bunlar, uzay ölçeği kavramını, gölgelendirme, doku ve odaklanma gibi çeşitli ipuçlarından şekil çıkarımı ve çeşitli kontur modellerini içerir. 1990'lı yıllarda, önceki araştırma konularının bazıları diğerlerinden daha aktif hale geldi. Projektif 3-D yeniden yapılandırma araştırmaları kamera kalibrasyonunun daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Aynı zamanda, görüntü segmentasyonunu çözmek için grafik kesim çeşitleri de kullanılmıştır. Bu on yıl ayrıca, ilk kez resimlerde yüzleri tanımak için pratikte istatistiksel öğrenme teknikleri kullanıldı. 1990'lı yılların sonuna doğru, bilgisayar

grafikleri ve bilgisayarla görme alanları arasındaki etkileşimin artmasıyla birlikte önemli bir değişiklik meydana geldi. Yeni oluşturulan yöntemler görüntülemeyi, görüntü geçişini, görüntü enterpolasyonunu, panoramik görüntü birleştirmeyi içeriyordu.

Birçok bilgisayarla görme uygulamalarında, bilgisayarlar belirli bir görevi çözmek için önceden programlanmıştır, ancak öğrenmeye dayalı yöntemler artık daha yaygın hale gelmektedir. Bilgisayarla görme uygulamalarına örnek olarak şunlar verilebilir:

- Üretim uygulamalarında otomatik denetim;
- İnsanlara tanımlama görevlerinde yardımcı olmak;
- Kontrol işlemleri, örneğin endüstriyel bir robot;
- Olayları tespit etmek, örneğin görsel gözetim veya insan sayımı;
- Nesnelerin veya ortamların modellenmesi, örneğin tıbbi görüntü analizi veya topografik modelleme;
- Otonom araçlardaki görüntü tanıma sistemleri.

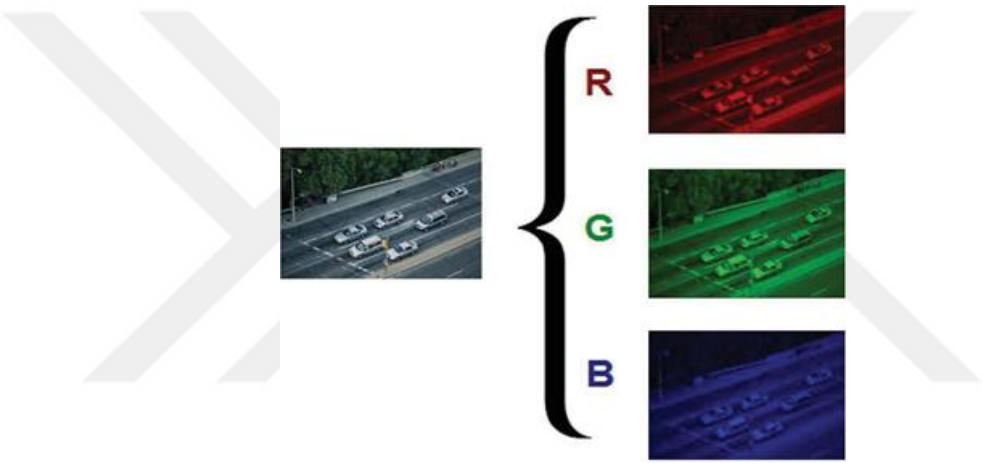
Örnek verilen uygulamalar ve daha fazlası için bilgisayarla görme alanında çalışılan görevler arasında nesne tanıma, yüz tanıma, el yazısı tanıma, optik akışla hareket tanıma sayılabilir. Şekil 2.5'te örnek bir tanımlama uygulamasında elde edilen çıktı görülmektedir.



Şekil 2.5 Örnek Bir Tanımlama Uygulamasında Elde Edilen Çıktı [20]

2.4 Renk Uzayları

Renkli görüntü, üç bant monokrom görüntü verisi olarak modellenebilir; buradaki her bir veri bandı, farklı bir renge karşılık gelir. Üç ana renk olan Kırmızı (Red-R), Yeşil (Green-G) ve Mavi (Blue-B) farklı tonlarının kullanılması ile milyonlarca renk oluşturulur. Standart modellemede, renkli görüntüleme için 8 bit monokrom veri her rengi temsil etmek için kullanılır. 24 bpp (bit per pixel – piksel başına bit) RGB bandı, RGB renk setindeki her renk bandı için 8 bit tutulması neticesinde oluşmuştur. Görüntüler, yayılan ışık enerjisi piksellerde belirli bir renge karşılık geldiğinde ekran tabanlı parlaklık bilgisiyle oluşturulur. Şekil 2.6'da RGB renk uzayı örneği verilmiştir[21].



Şekil 2.6 RGB Renk Uzayı için Örnek Bir Görüntü [21]

Gri seviye görüntüler, monokrom veya tek renkli görüntüler olarak adlandırılır. Gri seviye görüntülerde renk bilgisi yoktur, sadece parlaklık hakkında bilgi vardır. Bu görüntü türündeki parlaklık seviyesi, her pikseldeki bit sayısını belirler. Her piksel için 1 değer kullanıldığından, bu nedenle tipik olarak görüntü her pikselde (0-255) gri parlaklık seviyesine sahip olmak için piksel başına 8 bit içerir. Şekil 2.7'de gri seviye renk uzayı örneği verilmiştir [22].



Şekil 2.7 Gri Seviye Renk Uzayı için Örnek Bir Görüntü [21]

İkili görüntüler çok çeşitli bilgisayarla görme işlemlerinde kullanılabilir. İkili görüntülerle bir robotik tutucudaki bir nesneyi kavramak, optik karakter tanıma (OCR), vb. gibi nesne şekilleri veya anahat bilgileri için görevleri bilgisayarlara yaptırmak işlem gücü ve zaman açısından daha kazançlıdır. İkili görüntü en basit türdür. Her piksel için 1 veya 0 olarak sadece iki olası değere sahip dijital görüntülerdir. Her pikseli temsil etmek için kullanılan ikili resimlerin piksel başına sadece 1-bit'e ihtiyacı vardır, çünkü pikseller sadece bir tane ikili rakam alır. İkili görüntü, gri görüntülerden eşik işlemi ile elde edilebilir. Bu piksel eşik değerden daha büyük olduğunda, beyaza (‘1’) ve daha küçük olduğunda siyaha (‘0’) döner. Şekil 2.8’de ikili renk uzayı örneği verilmiştir[22].



Şekil 2.8 İkili Renk Uzayı için Örnek Bir Görüntü [21]

2.5 Parlaklık ve Karşıtlık

En basit şekilde görüntüler için kullanılan temel kavramlardan bahsedilecek olursa bunlar günlük hayattaki cihazlarda kullanılan parlaklık ve karşıtlık kavramları olacaktır.

Parlaklık kavramı bir görüntüde beyazların tam beyaz ve siyahların tam siyah olmasını belirtir. Parlaklık değeri matematiksel olarak sayısal görüntüyü tanımlayan f(x, y) fonksiyonunun yoğunluğunu temel alır. Sayısal bir görüntü üzerinde yapılan bir işlemin başarısı, görüntü içinde ilgilenilen nesnenin parlaklık değeriyle bağlantılıdır.

$$g(x,y) = f(x,y) + b \tag{2.1}$$



b=-30 b=0 b=+30

Şekil 2.9 Farklı Parlaklık Değerleri için Örnekleme

Şekil 2.9'da aynı görüntü için farklı parlaklık değerleri görülmektedir. Gonzalez and Woods (2002), sayısal görüntülerin parlaklıklarının b ile ifade edilen pozitif veya negatif bir sayı ile toplanması durumunda parlaklık değerinin değişeceği Eşitlik 2.1'de görüldüğü gibi ifade etmiştir.

Sayısal görüntülerde en karanlık alan ile en parlak alan arasındaki farka karşıtlık denir. Karşıtlık, kaliteli bir görüntü işleme için uygun bir değerde ve yapılacak işlemin amacına uygun seçilmelidir. Sayısallaştırma esnasında kötü aydınlatma, görüntüyü alan cihazın yetersiz diyafram aralığı gibi koşullar sebebiyle parlaklık kaybı meydana gelebilir. Parlaklık kaybı da veri kaybına yol açacaktır. Karşıtlık ve parlaklık ayarları kaliteli görüntü işleme ve veri kaybı olmaması için dikkatle yapılmalıdır.

$$g(x,y) = a*f(x,y) \tag{2.2}$$



a=-80 a=0 a=+80

Şekil 2.10 Farklı Parlaklık Değerleri için Örnekleme

Eşitlik 2.2'de görüldüğü üzere görüntü fonksiyonu a değeri ila ifade edilen pozitif veya negatif karşıtlık değeri ile çarpılırsa elde edilen değer görüntüde karşıtlık değerini değiştirecektir. Şekil 2.10'da aynı görüntü için farklı karşıtlık değerleri görülmektedir.

2.6 Histogram

Histogram bir görüntüde bulunan renk değerlerinin piksel bazında sayısını veren grafiktir. Histogram grafiğinde gösterimi yapılan değerler, görüntüdeki her bir karşıtlık değeri için bulunan piksel sayısını ifade etmeye yarar. Histogram grafiği, genellikle gri seviyeli görüntülerin ikili görüntülere dönüşmeden önceki değer dağılım durumunu görmek ve daha kaliteli bir dönüşüm olması için dönüşüm öncesi yapılabilecek işlemlere karar vermek amacıyla kullanılır.

Gri seviye görüntülerde 0 ve 255 siyah ve beyaz değerleridir. Aralıkta kalan değerler ise gri seviyedir. Ara değerlerin 0'a yakın olması siyaha 255'e yakın olması ise beyaza yaklaştığını göstermektedir.

Gri seviyeli resimler için histogram grafiği mevcut 0-255 aralığındaki her bir değer için görüntüdeki piksel sayısını belirtir. Histogram grafiği sayesinde görüntünün siyah veya beyaz yönüne doğru yığılma durumu anlaşılabilir.

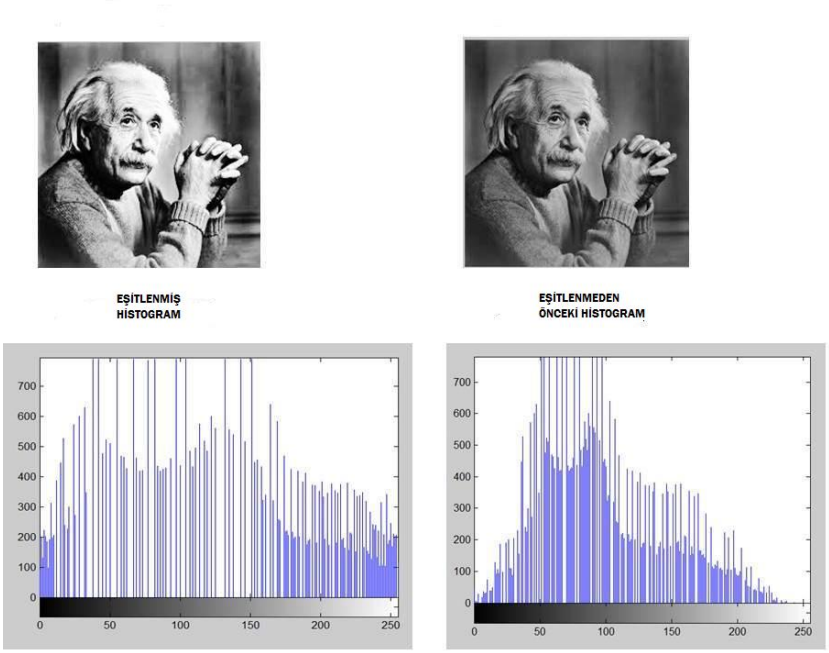
$$h(r_k) = n_k \tag{2.3}$$

Eşitlik 2.3 ile histogram tanımlanabilir. r_k k. gri seviyeyi ve n_k bu seviyedeki piksel sayısını belirtir.

Histogram grafiği bir kısımda yoğunlaşmış görüntülerde işlemler sağlıklı yapılamaz. Eşikleme denilen işlemle beraber belirli bir gri seviyesinin altındaki pikseller siyah veya beyaz, üstündeki pikseller ise bir önceki adımda verilen siyah veya beyaz değerinin tersi bir değere atanarak ikili görüntü elde edilir. Bu şekilde kenar çıkarımı, özellik çıkarımı gibi işlemler yapılır.

Eşikleme (Tresholding); gri seviyede tanımlanmış sayısal bir görüntünün 0-255 aralığındaki piksel değerlerinin belirlenen bir eşik değerin üstünde sayısal niceliğe sahip piksellerinin değerini 1 (beyaz), bu eşik değerinin altında niceliğe sahip piksellerin değerini 0 siyah kabul ederek görüntünün sayısal değerlerini yeniden tanımlama işlemidir. Eşikleme temel olarak gri seviyede tanımlanmış görüntüler üzerinde uygulanan bir işlem olduğu için eşik değeri 0-255 aralığında seçilir. Eşikleme sonucunda görüntülerin piksel değerleri sadece 0 ve 1 değerlerini aldıklarından bu işleme görüntüyü ikilileştirme de denilebilir. Eşikleme işlemi farklı yoğunluktaki veya renkteki ön ve arka plan görüntülerini bölütlemede kullanılan en temel yöntemdir [23].

Yanlış eşik değeri ile yapılan eşikleme işlemi sebebiyle histogramı belirli değerlere yığılmış bir gri seviye resimde yanlış bir ikili görüntü elde edilecektir. Bu nedenle görüntülerin histogramı dengelenerek, işlemeye hazır kaliteli veri elde edilmelidir.



Şekil 2.11 Histogram Eşitlenmesi için Bir Örnek [24]

Histogram eşitlemeyle elde edilen histogram Şekil 2.11'de görüldüğü gibi daha düzenli dağılıma sahip olacaktır. Daha düzenli dağılım tamamen düz ve ideal dengeli bir histogram olmayacaktır. Tepeler ve vadiler içeren bir histogram, eşitlemeden sonra da tepeler ve vadiler içerecektir fakat içerdiği bu tepe ve vadiler önceki duruma oranla iyileştirme sunacaktır.

Yukarıda belirtildiği üzere k. gri düzey r_k nın meydana gelme olasılığı Eşitlik 2.4'de verilmiştir.

$$p(r_k)=n_k/n \quad k=0, 1, 2, \ldots, L-1 \tag{2.4}$$

Histogram eşitlemede ise n piksel sayısına sahip bir görüntünün bütün gri seviyeleri n piksel sayısına bölünerek yeni histogram değeri elde edilir. Normalize edilmiş bir histogram Eşitlik 2.5'te görüldüğü gibi tanımlanabilir:

$$p(r_k)=n_k/n \tag{2.5}$$

Yapılan tanımlamaya istinaden herhangi bir görüntünün histogramının eşitlenme işlemi ise Eşitlik 2.6 gibi formülize edilebilir:

$$s_k = \sum_{j=0}^{k} p(r_j) = \sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{n} \tag{2.6}$$

Histogramı eşitlenmemiş görüntü r_k seviyesine sahip iken yeni eşitlenmiş görüntü ise s_k gri seviyesine sahip olacaktır.

Histogramı eşitlenmiş görüntü ikili görüntü seviyesine indirgenirken hangi gri seviyenin eşik değeri olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Bilinen eşik değerin altındaki piksel değerleri siyah veya beyaza, üstündeki piksel değerleri ise önceki adımda siyah veya beyaz olarak piksellere verilen değerin tersi olacak şekilde fonksiyonlandırılır. Eşitlik 2.7, yapılan bu eşikleme işlemini fonksiyon olarak tanımlamıştır[23].

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) \geq T \\ 0, & f(x,y) < T \end{cases} \tag{2.7}$$

Kimi eşikleme yöntemleri geliştirilmiş olsa da yapılacak uygulamanın özelliğine göre eşikleme değerinin birkaç farklı eşikleme sonucuna göre deneme yoluyla optimize edilmesi de kabul görür. Şekil 2.12'de elde edilmiş histogram grafiğine göre eşikleme yapılarak ikili görüntüye dönüştürülen bir görüntü bulunmaktadır.



Şekil 2.12 Histogram Grafiğine Göre Eşikleme Yapılmış Görüntü [25]

2.7 Morfolojik İşlemler

Görüntü işlemede elde edilen ikili görüntüler ham veri olarak değerlendirilir. Önemli olan elde edilen ikili görüntüden hangi bilginin elde edilmek istendiğidir. Morfolojik işlemler, ikili görüntüler üzerine temel matematik matris işlemlerini temel alan operasyonların uygulanmasıdır. Bu işlemler aynı zamanda konvolüsyon işlemlerini de barındırır. Konvolüsyon işleminin sinyal işlemede temel olarak iki sinyalin iç içe geçirilmesi şeklinde tanımlandığı bilinmektedir.

Görüntü işlemede belirli boyutlarda ve belirli değerlerdeki piksellerle oluşturulmuş, matris maskeler vardır. Oluşturulmuş piksel matrisleri elde edilmiş görüntü üzerinde dolaştırılırken üst üste denk gelen her ikili piksel değeri mantıksal işlemlere (AND, OR, XOR vb.) tabi tutulur ve yeni değerler işlem gören piksel değeri yerine yazılır.

MxN boyutlu bir görüntünün yine MxN boyutlu bir w maskesiyle konvolüsyona sokulması neticesinde yeni piksel değerleri Eşitlik 2.8 yoluyla bulunabilir;

$$g(x,y) = \sum_{s=-at}^{a} \sum_{t=-b}^{b} w(s,t) f(x+s, y+t) \tag{2.8}$$

Eşitlik 2.9'da ise alınacak a ve b sınırları, ana matris boyutlarına göre şöyle belirlenebilir;

$$a = (m-1)/2 \quad \text{ve} \quad \text{b=(n-1)/2} \tag{2.9}$$

Çıktı olarak elde edilen görüntü, uygulanmış olan konvolüsyon maskesindeki ağırlıkların toplamından etkilenmiş görüntüdür. Şekil 2.13, belirlenen bir maskenin görüntüye konvolüsyon yöntemiyle uygulanmasını göstermektedir.

Konvolüsyon işleminde bulunan önemli bir sorun görüntünün kenar ve köşe koordinatlarında mevcuttaki maskeyle yapılacak işlemlerdir. Kenar ve köşe piksellerin maskenin merkezine oturduğu işlemlerde mevcut maskenin diğer elemanları ana görüntü dışında kalmaktadır. Şekil 2.14, uygulanacak maskenin görüntü dışına taşan bölgelerini göstermektedir.

Meydana gelen bu sorunun çözümü için birkaç alternatif bulunmaktadır.

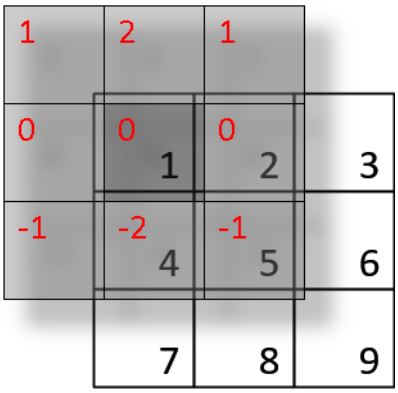
Birincisi, görüntünün dışında kalan piksel değerlerini 0 olarak kabul etmektir.

Bir diğer yöntem, konvolüsyon maskesini görüntünün dışına taşmayacak bir piksele oturtmaktır. Örneğin, eğer konvolüsyon maskesi 3x3 boyutlarında ise, (0,0) koordinatı yerine (1,1) koordinatındaki piksel ile konvolüsyon işlemine başlanarak sorun giderilebilir.

Başka bir yöntem ise, konvolüsyon işleminden önce görüntüyü genişletmektir. Görüntünün üst ve alt satırları ile sağ ve sol sütunları kopyalanarak görüntü genişletilebilir.

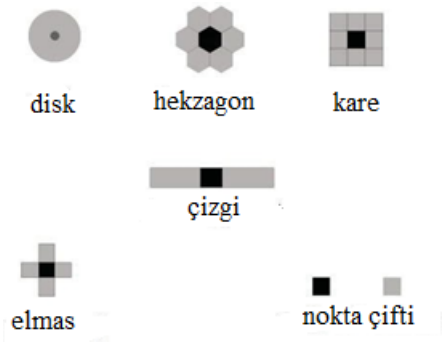


Şekil 2.13 Görüntüye Maskeyle İşlem Uygulanması



Şekil 2.14 Maskenin Görüntü Dışına Taşma Durumu

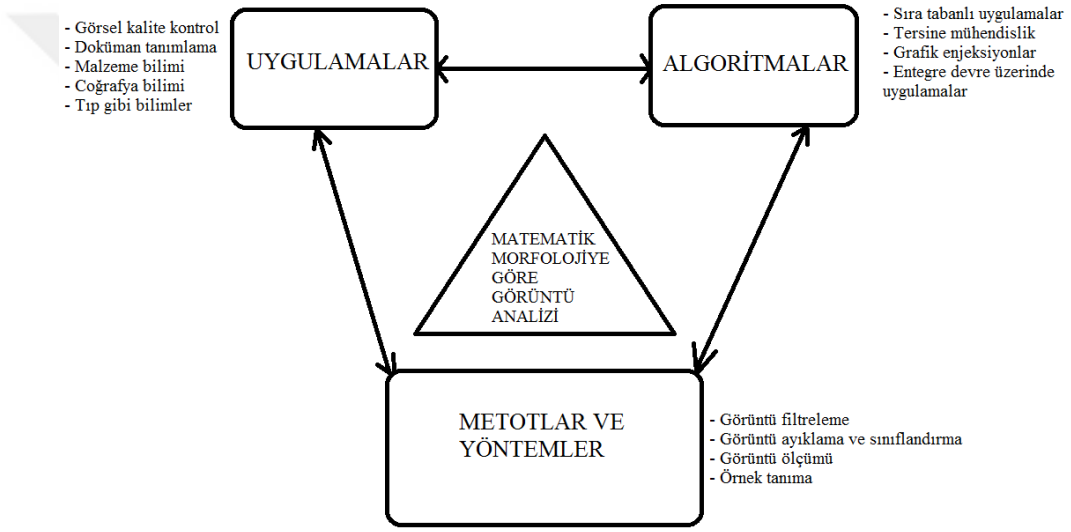
Maskeler zamanla belirli kalıp yapılara dönüşmüşler ve yapılandırma elemanları ismiyle literatürde yerini almışlardır. Yapılandırma elemanı, görüntüleri incelemek için kullanılan küçük bir alt görüntü veya şekil kümesidir ve n boyutlu görüntü nesnelerinin morfolojisini araştırmak için kullanılabilir. Yapı elemanının şekli görüntünün geometri bilgisine bağlıdır. Morfolojik operatörler görüntüde ilgilenilen bir dizi piksel yapısını oluşturan elemanlarla etkileşimle oluşturulur. Yapılandırma elemanı hem bir şekle hem de bir kökene sahiptir. Çeşitli türlerde yapılandırma elemanı vardır: Düz yapı elemanı (Disk, altıgen, kare, çizgi parçası, elmas ve nokta çifti gibi) ve düz olmayan yapı elemanları (keyfi ve top gibi düz olmayan). Şekil 2.15'te çeşitli yapı elemanları görülmektedir.



Şekil 2.15 Örnek Yapı Elemanları [17]

Morfolojik yöntem robot vizyon, muayene, mikroskopi, tıbbi görüntüleme, uzaktan algılama, biyoloji, metalurji ve dijital belgeler gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Morfoloji, mekansal yapıların analizi için bir teori olarak tanımlanabilir. Görüntü işleme morfolojisi yapının şeklini analiz etmek için

kullanılır. Bu matematiksel bir işlemdir ve görüntü analizi bazı küme teorilerine, integral geometriye ve kafes cebirine dayanır [17]. Görüntü işleme analizinde matematiksel morfoloji doğrusal olmayan cebirsel operatörler sisteminin bir kolunu ifade eder. Matematiksel morfolojinin haiz olduğu özellikler, geliştirme, segmentasyon, sıkıştırma, kenar algılama, restorasyon, doku analizi, özellik oluşturma, iskeletleme, eğri doldurma, parçacık analizi, şekil analizi, bileşen analizi, ve genel inceltme gibi çok çeşitli görüntü işlemlerinde matematiksel morfolojinin uygulanabilmesini sağlar. Şekil 2.16, matematik morfolojiye göre görüntü analizinin temel akışını göstermektedir.



Şekil 2.16 Matematik Morfolojiye Göre Görüntü Analizi

Herhangi bir görüntü işlemede morfolojik operatörlerin uygulanmasının amacı, görüntü bileşenlerini çıkarmak ve görüntü yapı elemanlarını kullanarak görüntü kusurlarını gidermektir. Morfolojik işlemlerin uygulanacağı görüntüye yapı elemanları ile işlemler uyguladıktan sonra aynı boyutta bir çıktı görüntüsü oluşturmak için erozyon, genişleme, açma ve kapama gibi bazı morfolojik işlemler kullanılır.

İkili görüntülerde, kümeler, iki boyutlu Z^2 uzayının üyesidir. Bu uzayda kümeler iki boyutlu vektörlerden oluşmaktadır ve bu vektörlerin (x, y) koordinatına sahip her bir elemanı siyah ya da beyazdır.

A ve B kümeleri yukarıda anlatıldığı şekilde tanımlı kümeler olsun. a, A kümesinin elemanı ise a ∈ A olarak, elemanı değil ise a ∉ A olarak belirtilecektir. Eğer A kümesinin bütün elemanları aynı zamanda B kümesinin elemanları içindeyse A ⊆ B olarak belirtilecektir.

a. Birleşim: A ve B kümelerini A ve B öğelerini bir kümede toplamak anlamına gelir.

b. Kesişim: A ve B setlerinin iki noktasının kesişimi, hem A hem de B'de bulunan nokta elementleri üretir. Eğer kümeler ayrık veya birbirini dışlayan kümeler ise bu durumda A ve B setlerinin ortak unsurları yoktur ve A ∩ B = 0 ile yazılır, burada 0 boş kümeyi gösterir. Kesişim işlemi Eşitlik 2.10'da belirtilmiştir:

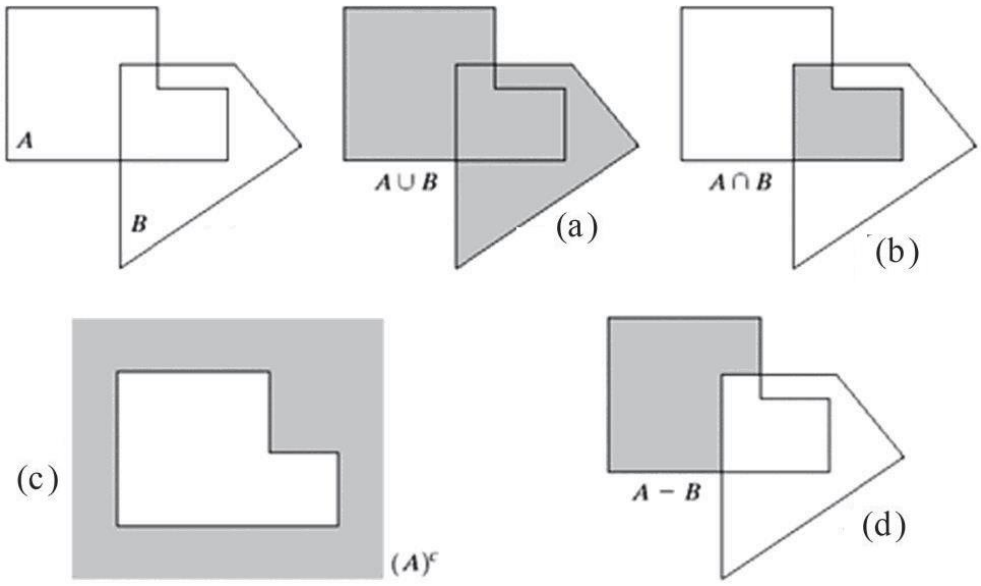
$$D = A \cap B = \{p | p \in A \text{ ve } p \in B\} \tag{2.10}$$

c. Tümleyen: A kümesi dışında kalan bölgeyi temsil eder. A^c olarak temsil edilir. Eşitlik 2.11'de A^c kümesi gösterilmiştir.

$$A^c = \{w | w \notin A\} \tag{2.11}$$

d. Fark: A ile B arasındaki fark, A ile B kümelerinin kesişmeyen elemanları olarak belirtilebilir.

Şekil 2.17, a, b, c, d, işlemleri küme şemalarıyla şekilsel olarak yer almaktadır.



Şekil 2.17 Birleşim, Kesişim, Tümleyen Fark İşlemleri [17]

Öteleme: $z = (z_1, z_2)$ noktası etrafında B'nin ötelenmesi, $(B)_z$, Eşitlik 2.12'de tanımlanmıştır:

$$(B)_z = \{c | c = b + z, \text{for } b \in B\} \quad (2.12)$$

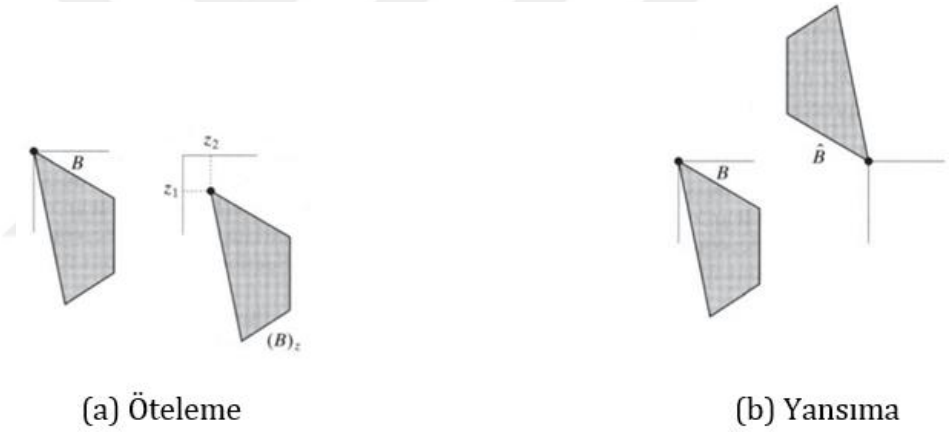
Eğer B piksel kümesi ise, $(B)_z$, (x, y) koordinatları $(x+z_1, y+z_2)$ ile değiştirilen noktalar kümesidir.

Yansıma: B nin yansıması B_y ile gösterilmiştir ve Şekil 2.18'de tanımlanmaktadır.

$$B_y = \{w | w = -b, \text{for } b \in B\} \quad (2.13)$$

Şekil 2.18'de öteleme ve yansıma işlemleri gösterilmiştir.

B, görüntüdeki bir nesneyi temsil eden bir dizi piksel (2D nokta) ise, yansıması B'deki (x, y) koordinatlarının (-x, -y) ile değiştirildiği noktaların kümesidir.



Şekil 2.18 Öteleme ve Yansıma İşlemleri [17]

Şekil 2.18, öteleme ve yansıma işlemlerini kümeler üzerinde göstermektedir.

Genişletme işlemi, ikili bir görüntüdeki nesneleri kalınlaştırır ve büyütür[17]. Kalınlaşmanın derecesi, yapılandırma elemanının şekli ve büyüklüğü ile kontrol edilir. Görüntü karelerinin alanı boyunca ve genişleme sürecinde yapı elemanının kökeni çevrilir ve yansıtılır ve 1 değerli piksellerle çakışıp çakışmadığını görmek için kontrol edilir. Uzama, kırılma gibi görüntüdeki istenmeyen girişimleri onarmak için kullanılır.

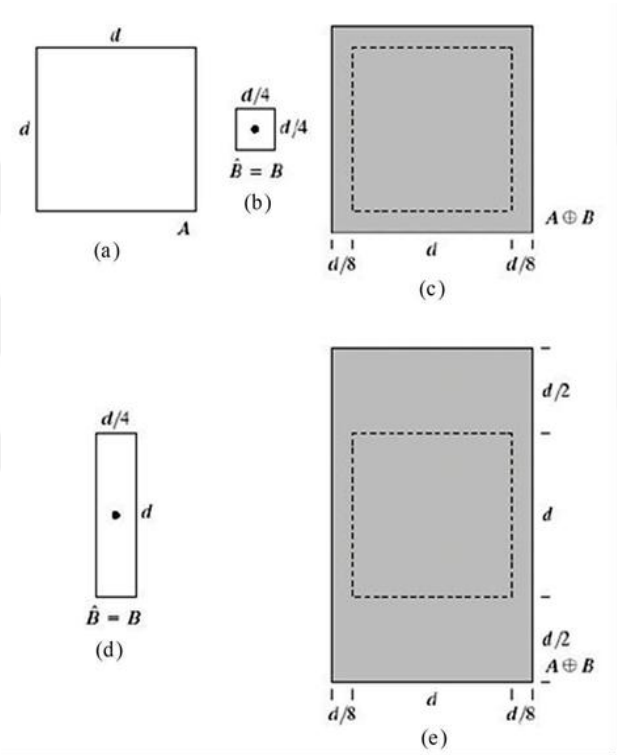
$A \oplus B$ ile belirtilen A'nın B'ye genişlemesi Eşitlik 2.14'te verilmiştir,

$$A \oplus B = \{z|(B)_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (2.14)$$

B yapılandırma elemanı tarafından genişleme işlemine tabi olan A kümesinin (görüntüsünün) çıktısı, B'nin A üzerinde gezinmesiyle meydana gelen *z* değişiklikleri Şekil 2.19'da gösterilmiştir ve Eşitlik 2.15'te belirtilmiştir.

$$A \oplus B = \{ z|[(B)_z \cap A] \subseteq A\} \quad (2.15)$$

Burada A, girdi görüntüsüdür, $\oplus$ genişleme operatörü sembolüdür, B, yapı elemanıdır, $(B)_z$, yapı elemanını çevirmekte ve yansıtmaktadır, *z*, çıktı elemanlarıdır ve ∅, boş settir.



Şekil 2.19 Genişleme: (a) A Kümesi (B) Kare Yapı Elemanı (nokta merkezdir). (C) A'nın B ile Genişlemesi. (D) Uzun Yapı Elemanı (e) A'nın Uzun Yapı Elemanı Tarafından Genişlemesi [17]

Erozyon işlemi, ikili bir görüntüdeki nesneleri küçültmeyi, inceltmeyi veya çıkarmayı sağlar. Büzülme veya incelme derecesine, yapılandırma elemanının şekli ve büyüklüğü ile karar verilir. Erozyon birleştirilen nesneleri ayırabilir ve ekstrüzyonları sökebilir[17].

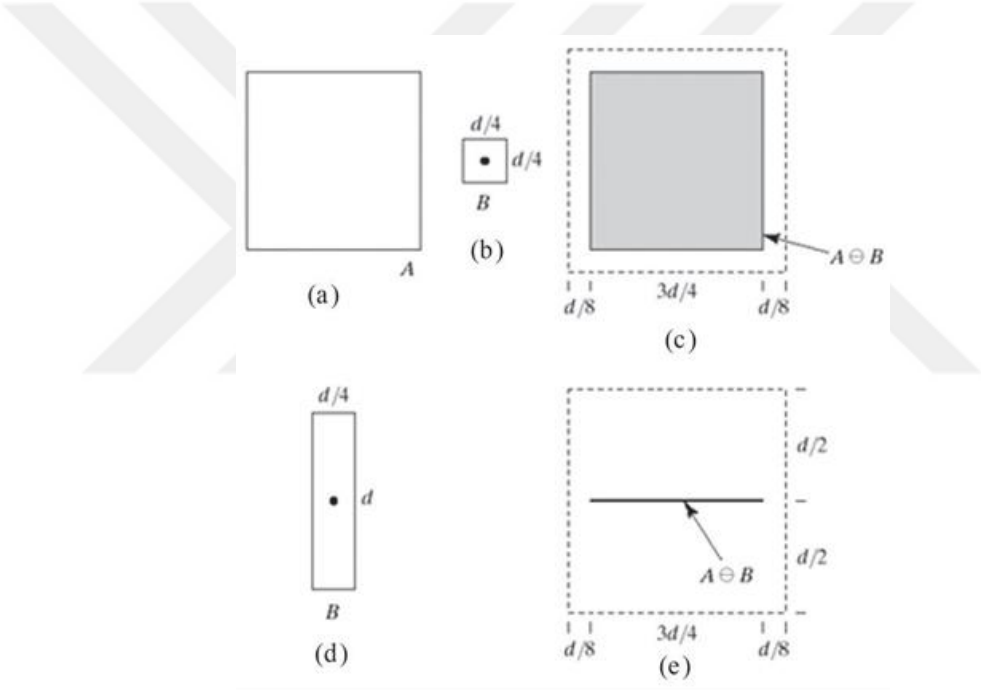
Erozyonun matematiksel tanımdaki genişleme ile benzerliği vardır. A⊖B ile gösterilen A ile B'nin erozyonu Eşitlik 2.16 ile tanımlanmıştır,

$$A \ominus B = \{ z|(B)_z \cap A^c \neq \emptyset\} \tag{2.16}$$

Yapılandırma elemanı B tarafından erozyona uğramış A'nın çıktı görüntüsü (erozyon görüntüsü), B ve A'nın giriş görüntüsünde sadece bir değerin üst üste geleceği şekilde ayarlanır.

$$A \ominus B = \{ z|(B)_z \subseteq A\} \tag{2.17}$$

Eşitlik 2.17'de A, giriş görüntüsü, ⊖ erozyon sembolü, B, yapı elemanıdır, $(B)_z$, yapı elemanı çevirisidir, A^c, A'nın tamamlayıcısıdır, z, çıktı elemanlarıdır ve ∅, boş kümedir. Şekil 2.20'de erozyon işlemleri kümeler üzerine gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Erozyon: (a) A Kümesi (b) Kare Yapı Elemanı (c) A kümesinin B ile Aşınması. (d) Uzun Yapı Elemanı (e) Uzun Yapı Elemanı Kullanarak A'nın Aşındırılması [17]

Genişleme ve erozyon, morfolojik operatörlerin iki temel işlemidir. Bunlar bir araya getirilerek daha karmaşık kümeler oluşturulabilir. Açma ve kapama olarak tanımlanan işlemler, erozyon ve genişleme işlemlerinin farklı sırayla uygulanması ve birleştirilmesiyle oluşur.

Açma işleminde erozyon işleminin ardından genişleme işlemi uygulanır. Açma işlemiyle görüntüdeki cismin kenarının yumuşatılması ve yapılandırma elemanından daha küçük olarak kalan piksel bölgelerinin yok edilmesi amaçlanır.

A kümesinin B yapısı elemanı tarafından açılma işlemine tabi olması AoB ile gösterilir ve Eşitlik 2.18 ile tanımlanır:

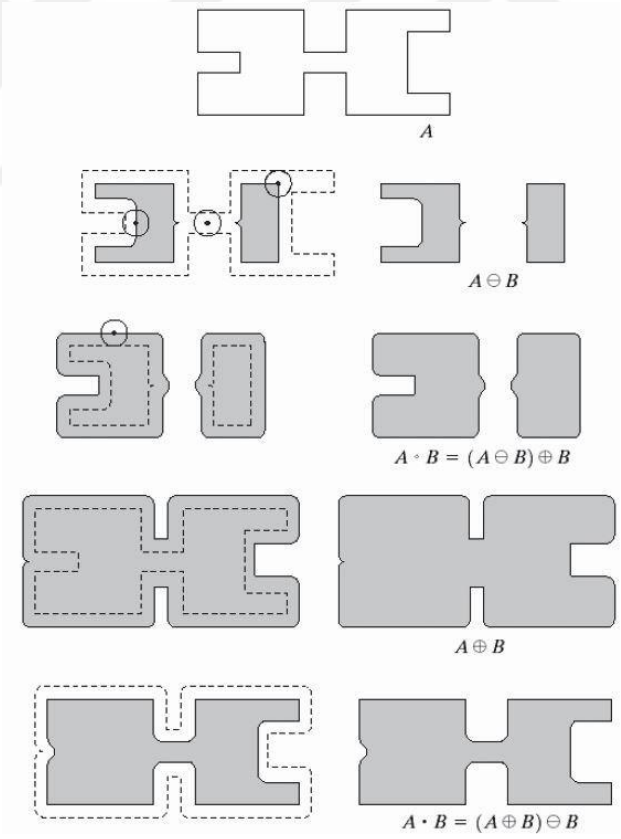
$$AoB = (A \ominus B) \oplus B \tag{2.18}$$

Kapama işleminde genişleme işleminin ardından erozyon işlemi uygulanır ve böylelikle delikler ve küçük boşluklar kapatılmış olur.

A kümesinin B yapısal elemanı tarafından kapatılması, A•B ile gösterilir ve Eşitlik 2.19 ile tanımlanır:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \tag{2.19}$$

Şekil 2.21 ile açma ve kapama işlemleri şekil ve küme üzerinde gösterilmiştir.

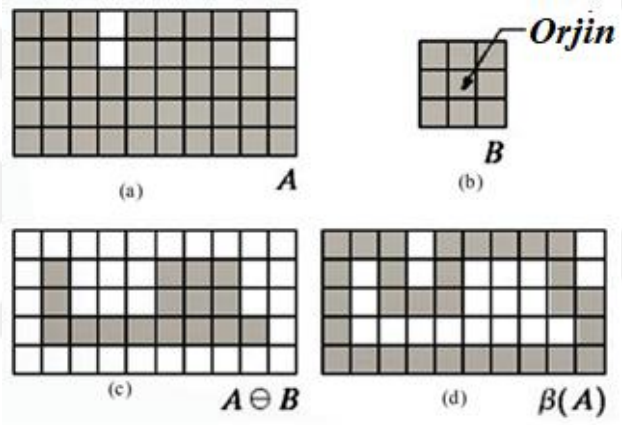


Şekil 2.21 Açma ve Kapama: A Kümesi, Disk Yapısı Elementi B, Erozyon, Açma, Genişleme ve Kapama [17]

Görüntü bileşenlerini çıkarmak, morfolojinin temel uygulamalarından biridir ve özellikle ikili görüntülerle uğraşırken şekillerin tanımlanması ve gösterilmesinde faydalıdır. Şekil 2.22'de kenar çıkarma işlemi şekil üzerinde gösterilmiştir.

A'nın sınırı, A'nın B tarafından erozyona uğraması ve elde edilen görüntüyle işleme sokulmamış orijinal A'nın farkının alınmasıyla bulunabilir. β(A) setinin B setiyle olan sınırı (A) ile gösterilir. "-" kümeler arasındaki fark işlemini tanımlar ve Eşitlik 2.20'de gösterilmiştir.

$$\beta(A) = A - (A \ominus B) \tag{2.20}$$

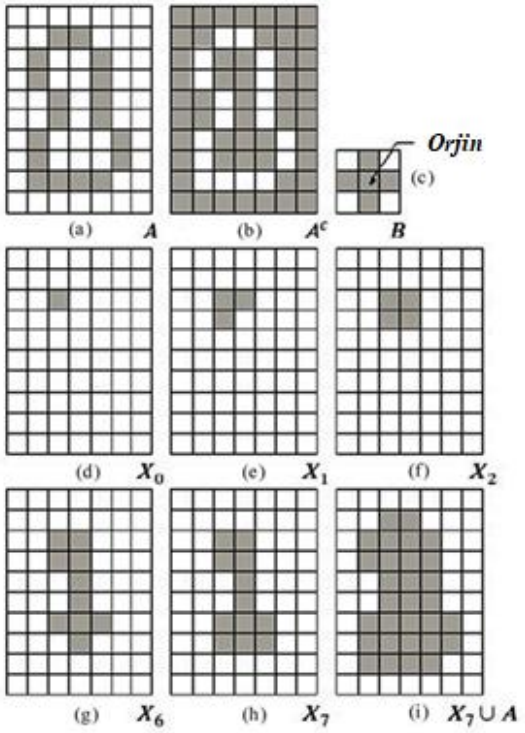


Şekil 2.22 Morfolojik Kenar Çıkarma İşlemi [26]

Morfolojiye dayanan başka bir basit algoritma ise genişleme, tamamlama ve kesişme ile elde edilebilecek bölge doldurmadır. Bölge dolgusu aynı zamanda delik dolumu olarak da adlandırılır ve Eşitlik 2.21'de belirtilmiştir.

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad k=1, 2, 3, \ldots \tag{2.21}$$

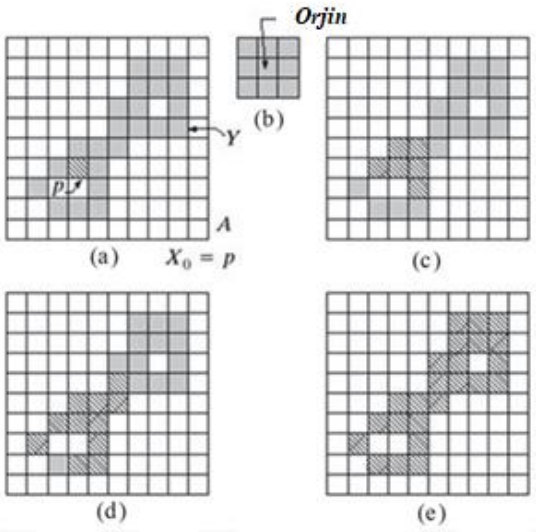
Algoritma, eğer $X_k = X_{k-1}$ ise, yineleme adımında sona ermektedir. X_k ve A'nın küme birliği, doldurulmuş kümeyi ve sınırlarını içerir. Şekil 2.22'de bölge dolgusu işlemi şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.23 Morfolojik Bölge Doldurma [26]

Bağlı bileşenlerin görüntüden çıkarımı işlemi Eşitlik 2.22'de tanımlanmıştır ve Şekil 2.23'te şekil bağlamında gösterilmiştir. Bağlı bileşenleri görüntüden çıkarımı bölge doldurma işleminden farklı olarak A^c yerine A ile işleme girmesinden kaynaklanır. İskeleti arka plandan tek bir eşik kullanarak çıkarttıktan sonra, yalnızca önemli boyuttaki nesnelerin eşik görüntüsünde erozyon işlemine devam edildiğinden emin olunmalıdır.

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A \quad k=1, 2, 3, \ldots \tag{2.22}$$



Şekil 2.24 Bağlı Bileşenlerin Morfolojik Çıkarımı [27]

2.8 Kenar Çıkarma

Görüntüler için bahsedilen sınır kavramı piksellerdeki şiddet veya değer farkına göre bölgesel değişikliklerin algılanması işlemidir. Görüntüde şiddet düzeyindeki değişiklik, görüntünün gradyanı ile ölçülmektedir. Önceki kısımlarda da belirtildiği üzere görüntü iki boyutlu bir fonksiyon olarak f (x, y) şeklinde tanımlanmaktadır. Tanıma göre görüntünün gradyanı Eşitlik 2.23'te belirtilen formülle bulunabilir [28],

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{df}{dx} \\ \frac{df}{dy} \end{bmatrix} \tag{2.23}$$

Gradyanın boyu Eşitlik 2.24 veya 2.25 aracılığıyla hesaplanabilir.

$$mag(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \tag{2.24}$$

$$mag(\nabla f) = |G_x| + |G_y| \tag{2.25}$$

hesaplanabilir.

Gradyanın yönü ise Eşitlik 2.26 ile hesaplanabilir.

$$\theta(x, y) = tan^{-1}(G_x/G_y) \tag{2.26}$$

Gradyan işleminde, x ve y yönündeki gradyanları hesaplanması için ayrı iki maskeye ihtiyaç duyulmaktadır.

x ve y yönlerindeki gradyanlar Eşitlik 2.27 ve 2.28 ile bulunabilir.

$$G_x = f(i+1, j) - f(i, j) \tag{2.27}$$

$$G_y = f(i, j+1) - f(i, j) \tag{2.28}$$

Gradyan boyunu bulmak için aşağıdaki adımlar izlenir:

- I görüntüsüne G_x ve G_y ile ayrı ayrı konvolüsyon işlemi uygulanır.
- Ortaya çıkan iki görüntünün şiddet değerlerinin karesi alınır.
- Görüntüler toplanır.
- Toplam görüntünün karekökü alınır.

Çok sayıda kenar algılayıcı operatör geliştirilmiştir. Geliştirilen bu kenar algılayıcıların hepsi diferansiyel işlemler ve gradyana dayalıdır. Sobel, Prewitt, Canny ve Roberts en ünlü kenar algılayıcı operatörleridir. Kenar algılayıcıların çalışma mantığı ise kenar algılayıcı algoritmasında hesaplarla elde edilen gradyan boyunun ön tanımlı veya belirlenmiş eşik değerinden yüksek veya düşük olmasıyla bir kenar olma durumuna dayanır.

Roberts operatörü çapraz farklılıkları hesaplar [29]. Yapacağı hesaplamalar için 2x2 matrisler kullanır. Roberts operatörü maskeleri şöyledir:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Maskelerin 1x1. elemanı işlenmekte olan görüntünün işlenecek pikselinin üzerine gelecek şekilde konumlandırılır. Gradyan boyu iki maskenin mutlak değerlerinin toplamı ile Eşitlik 2.29 aracılığıyla hesaplanabilir:

$$mag(\nabla f) = |f(i+1, j+1) - f(i, j)| + |f(i+1, j) - f(i, j+1)| \tag{2.29}$$

Sobel operatörü ise 3x3 komşulukları kullanmaktadır[29]. Sobel operatörüne ait maskeler ise şöyledir:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

x ve y gradyanları olan G_x ve G_y değerlerini bulmak için Eşitlik 2.30 ve 2.31 kullanılır:

$$G_x = [f(i-1,j-1) + 2f(i-1,j) + f(i-1,j+1)] - [f(i+1,j-1) + 2f(i+1,j) + f(i+1,j+1)] \quad (2.30)$$

$$G_y = [f(i-1,j-1) + 2f(i,j-1) + f(i+1,j-1)] - [f(i-1,j+1) + 2f(i,j+1) + f(i+1,j+1)] \quad (2.31)$$

Bu eşitliklerden elde sonuçları toplayarak gradyan boyu öğrenilebilir.

Prewitt operatörü ise Sobel operatörü ile aynı işlemlere sahiptir[29]. Prewitt operatöründe değişen kısım ise maske matrisleridir. Prewitt operatörü için maske matrisleri aşağıdadır:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Canny kenar saptama, yararlı yapısal bilgileri farklı görme nesnelerinden çıkarma ve işlenecek veri miktarını önemli ölçüde azaltan bir tekniktir[30]. Çeşitli bilgisayarlı görüş sistemlerinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Canny, farklı görme sistemlerinde kenar algılama uygulaması için gereksinimlerin nispeten benzer olduğunu keşfetti. Kenar tespiti için genel kriterler şunlardır:

- Canny kenar algılama düşük hata oranlı kenar algılamasına sahiptir ve görüntüde mümkün olduğu kadar fazla kenarı tam olarak yakaladığının doğrulanması gerekmektedir.
- Operatörden algılanan kenar noktası, kenarın tam ortasına yerleştirilmelidir.

- Görüntüdeki belirli bir kenar yalnızca bir kez işaretlenmeli ve mümkün olduğunca görüntünün gürültüsü yanlış kenar oluşturmamalıdır.

Canny bu gereklilikleri yerine getirmek için varyasyonlar hesabını kullandı (verilen bir işlevi optimize etmeyi bulan bir teknik) . Canny'nin detektöründeki en uygun işlev dört üstel terimin toplamı ile tanımlanır, ancak Gaussian'ın ilk türevi ile yaklaşık olarak belirlenebilir.

Şimdiye kadar geliştirilen kenar algılama yöntemleri arasında, Canny kenar algılama algoritması, iyi ve güvenilir algılama sağlayan en katı yöntemlerden biridir.

Canny kenar tespiti algoritması süreci dört farklı adıma ayrılabilir:

a) Gürültüyü gidermek için ve görüntüyü düzeltmek için Gauss filtresi uygulanır. Böylece resmin yoğunluk dereceleri bulunur.

b) Kenar tespitinde yapay çıktılardan kurtulmak için maksimum olmayan bastırma (non maximum suppression) uygulanmalıdır.

c) Potansiyel kenarların belirlenmesi için çift eşik uygulanmalıdır.

d) Kenar histerezis ile takip edilir: Zayıf olan ve güçlü kenarlara bağlı olmayan diğer tüm kenarları bastırarak kenarların algılanması tamamlanır.

Tüm kenar algılama sonuçları görüntü gürültüsünden kolayca etkilendiğinden, gürültünün neden olduğu yanlış algılamayı önlemek için gürültüyü filtrelemek gerekir. Görüntüyü yumuşatmak için görüntüye bir Gauss süzgeci uygulanır. Bu adım, belirgin gürültünün kenar dedektörü üzerindeki etkilerini azaltmak için görüntüyü hafifçe düzgünleştirir. (2 k + 1) × (2 k + 1) boyutundaki Gaussian filtre çekirdeği denklemi Eşitlik 2.32 ile şöyle verilir:

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left(-\frac{(i-(k+1))^2+(j-(k+1))^2}{2\sigma^2}\right); \quad 1 \le i,j \le (2k+1) \qquad (2.32)$$

Burada, bitişik görüntüyü oluşturmak için kullanılan 5 × 5 Gaussian filtresine bir örnek Eşitlik 2.33 ile verilmiştir. Eşitlik 2.32'de verilen işlem sonucunda ortaya çıkabilecek bu matris örneği için Eşitlik 2.32'deki σ değeri 1.4 olarak alınmıştır. Yıldız işareti bir konvolüsyon işlemini gösterir .

$$\mathbf{B} = \frac{1}{159}\begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} * \mathbf{A} \tag{2.33}$$

Gauss çekirdeğinin boyutunun seçiminin dedektörün performansını etkileyeceğini bilmek önemlidir. Boyut büyüdükçe dedektörün gürültüye duyarlılığı da o kadar düşük olur. Ek olarak, kenarı tespit etmek için yerelleştirme hatası, Gaussian filtresinin çekirdek boyutunun artmasıyla bir miktar artacaktır. 5 × 5, çoğu durumda iyi bir boyuttur, ancak bu, belirli durumlara bağlı olarak da değişebilir.

Görüntüdeki bir kenar çeşitli yönlere işaret edebilir, bu nedenle Canny algoritması bulanık görüntüdeki yatay, dikey ve çapraz kenarları algılamak için dört filtre kullanır. Kenar algılama operatörü (örneğin, Roberts, Prewitt veya Sobel) yatay yön (G_x) ve dikey yönde (G_y) filtreler kullanır. Eşitlik 2.34 ve 2.35'te de görüldüğü üzere yeni bir bileşen olarak gradyanın açı değeri de işleme eklenerek kenar gradyanı ve yönü belirlenebilir:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \tag{2.34}$$

$$\theta = arctan2(G_y, G_x) \tag{2.35}$$

Eşitlik 2.34 ile belirtilen G değeri hipotek fonksiyonu (**hipotek**, dik açılı bir üçgenin hipotenüsünün uzunluğunu hesaplamak için tanımlanan matematiksel bir fonksiyondur) ve Eşitlik 2.35 ile belirtilen atan2 iki argümanlı arktanjant fonksiyonudur. Kenar yönü açısı dikey, yatay ve iki köşegeni (0 °, 45 °, 90 ° ve 135 °) temsil eden dört açı değerinden birine yuvarlanır. Her renk bölgesine düşen bir kenar yönü belirli bir açı değerlerine ayarlanacaktır.

Maksimum olmayan baskılama, kenar inceltme tekniğidir. "En büyük" kenarı bulmak için maksimum olmayan baskılama uygulanır. Gradyan hesaplamasından sonra, gradyan değerinden çıkarılan kenar hala oldukça bulanık olabilir. Canny kenar tespiti algoritması süreci b) kriteri ile ilgili olarak, kenara yalnızca tek bir doğru cevap verilmelidir. Bu nedenle, maksimum olmayan baskılama, en büyük yoğunluk değerine sahip bölgeleri gösteren lokal maksimum hariç tüm gradyan

değerlerinin (onları 0'a ayarlayarak) bastırılmasına yardımcı olabilir. Gradyan görüntüdeki her piksel için maksimum olmayan baskılama algoritması şudur:

- Geçerli pikselin kenar kuvveti (pikselin alınan gradyan değeri), pozitif ve negatif gradyan yönlerinde pikselin kenar kuvveti (pikselin alınan gradyan değeri) ile karşılaştırılır.
- Geçerli pikselin kenar kuvveti (pikselin alınan gradyan değeri), maskenin diğer yönleriyle aynı yöndeki en büyük kuvvete (pikselin alınan gradyan değeri) sahipse (örneğin, y yönünde işaret eden bir piksel, dikey eksende üstündeki ve altındaki pikselle karşılaştırılır), değer korunacaktır. Aksi takdirde, değer gizlenir.

Bazı uygulamalarda, algoritma sürekli gradyan yönlerini ayrık bir yönler kümesinde toplar ve daha sonra bir önceki adımın çıktısı üzerine 3x3 filtreyi hareket ettirir. Her pikselde, eğer pikselin kuvveti (pikselin alınan gradyan değeri) gradyan doğrultusundaki iki komşusunun kuvvetinden (pikselin alınan gradyan değeri) küçükse, merkez pikselin kenar gücünü değerini 0'a ayarlayarak bastırır. Örneğin,

- Yuvarlatılmış eğim açısı 0 ° ise (yani kenar kuzey-güney yönünde ise), eğim büyüklüğü **doğu ve batı** yönündeki piksel kuvvetinden büyükse, noktanın kenar üzerinde olduğu kabul edilir,
- Yuvarlatılmış eğim açısı 90 ° ise (yani kenar doğu-batı yönünde ise), eğim büyüklüğü **kuzey ve güney** yönlerindeki piksel kuvvetinden büyükse, noktanın kenar üzerinde olduğu kabul edilir,
- Eğer yuvarlatılmış eğim açısı 135 ° ise (yani kenar kuzey-güneybatı yönünde ise), eğim büyüklüğü **kuzey batı ve güney-doğu** yönündeki piksel kuvvetinden büyükse, nokta kenarda kabul edilir,
- Eğer yuvarlatılmış eğim açısı 45 ° ise (yani kenar kuzey batı-güney doğu yönündedir), gradyan büyüklüğü **kuzey doğu ve güney batıdaki** piksel kuvvetinden büyükse, nokta kenarda kabul edilir.

Maksimum olmayan baskılamanın uygulanmasından sonra kalan kenar pikselleri, görüntüdeki gerçek kenar piksellerinin daha isabetli gösterimini sağlar. Yine de, bazı kenar pikselleri renk değişimi ve görüntüdeki gürültü sebebiyle tespit

edilemeyebilir. Bu yapay kalıntıları hesaba katmak için, kenar piksellerini zayıf bir gradyan değeriyle filtrelemek ve kenar piksellerini yüksek gradyan değeriyle korumak önemlidir. Yüksek ve düşük eşik değerleri seçerek koruma gerçekleştirilir. Bir kenar pikselinin gradyan değeri, yüksek eşik değerden yüksekse, güçlü bir kenar piksel olarak işaretlenir. Bir kenar pikselinin gradyan değeri, yüksek eşik değerden daha küçük ve düşük eşik değerden daha büyükse, zayıf bir kenar piksel olarak işaretlenir. Bir kenar pikselinin değeri düşük eşik değerden daha küçükse, gizlenecektir. Şekil 2.25'te Canny operatörü tarafından kenar çıkarımı yapılmış bir görüntü bulunmaktadır.



Şekil 2.25 Canny Operatörü Tarafından Kenar Çıkarımı Yapılmış Bir Görüntü [31]

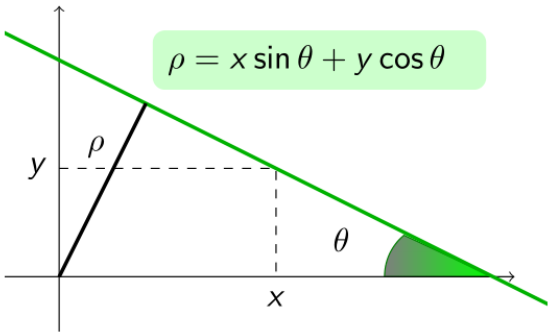
1962 yılında Paul Hough tarafından Hough dönüşümü algoritması ortaya konmuştur[29]. Görüntülerdeki doğruların tanımlanabilmesi için piksel konum noktalarının eğim-kesim noktaları parametreler olarak kullanılmış ve ortaya lineer bir analiz yöntemi çıkmıştır. Kullanılan eğim-kesim nokataları parametrelerinin sorunlarından birisi ise tam yatay veya tam dikey konumda olan doğruların tanımlanamamasıdır.

Sözü edilen sorun sebebiyle Richard Duda ve Peter Hart tarafından 1972 yılında Hough dönüşümü geliştirilmiştir. Yenilenen Hough dönüşümünde parametre olarak eğim-kesim nokataları yerine belirlenen piksel noktalarının konumları açı ve yarıçap olarak belirlenerek lineer tanıma trigonometrik kolaylık eklenmiş ve tam yatay ile tam dikey doğrular da açı bilgisiyle tanımlanabilmiştir.

Yenilenen Hough dönüşümünde herhangi bir doğrunun normal formu Eşitlik 2.36'da da görüldüğü üzere:

$$x cos\theta + y sin\theta = \rho \quad (2.36)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.26 Hough Dönüşümü Terimlerinin Geometrik Gösterimi

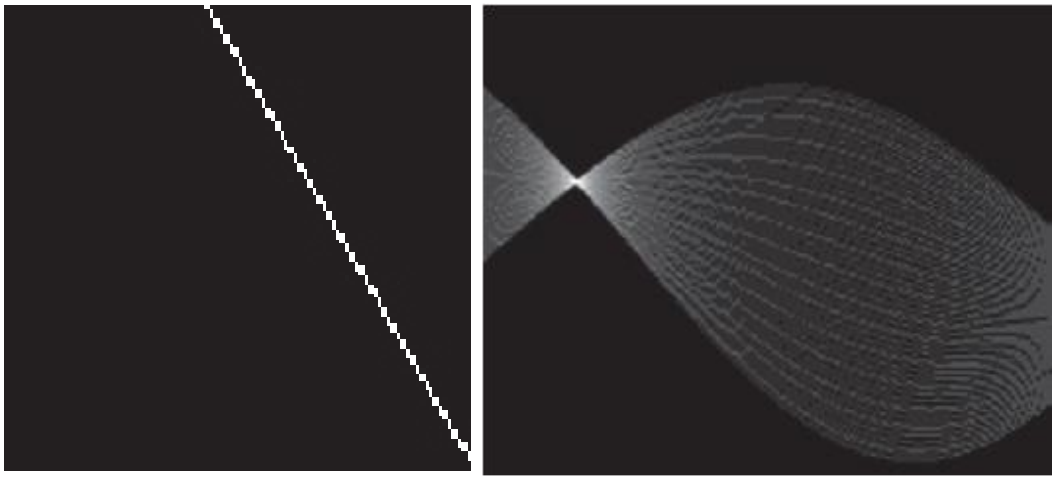
Düz bir çizgi içeren bir ikili görüntü için N, çizgi üzerindeki piksellerin sayısı ise bu pikseller, { x(n), y(n) }, n = 0,1,...N-1} ile gösterilebilir.

İkili görüntü olması sebebiyle doğru üstünde bulunan pikseller 1, geriye kalan pikseller ise 0 değerindedir.

İkili görüntüde bulunan doğrunun normal parametreleri (ρ_0, θ_0) olduğunda doğrunun içerdiği tüm noktalar Eşitlik 2.37 ile Hough dönüşümüne göre:

$$x(n)cos\theta_0 + y(n)sin\theta_0 = \rho_0 \quad (2.37)$$

eşitliğini sağlamaktadır ve Şekil 2.27'de görülen kenar sınırının Hough dönüşümünü oluşturmaktadır.



Şekil 2.27 Görüntüdeki Kenar Sınırının Hough Dönüşümüne Uğraması

3
Kullanılan Yazılım ve Donanım

3.1 Raspberry Pi Model 3 B+

İngiltere menşeili Raspberry Pi, Raspberry Pi Vakfı tarafından ilk defa 2012 yılında duyuruldu. Tasarımı yapılan bu yeni donanım kredi kartı boyutlarındadır.

Raspberry Pi'yi oluşturan vakfın ana amacı her kesimden insanın bir bilgisayara ucuz yoldan ulaşabilmesiydi. Böylelikle özellikle kodlama ve bilgisayar eğitimi alanında beklenen ucuzluk ve kolay erişilebilirlik sağlanmıştır. Küçük boyutlarına rağmen kodlama ve temel yazılımlar için gerekli gücü sağlayabilen bu tek kart bilgisayar dünyada 18 milyon adet satıldı. Son güncellemelerle gücü artırılan Raspberry Pi normal bir eğitim bilgisayarından ziyade günlük kullanıma uygun bilgisayarlar sınıfında yer alarak kullanımı endüstri alanı da dahil olmak üzere yaygınlaştı. Fiyatı günümüzdeki bir orta-üst sınıf dizüstü bilgisayarın fiyatının %2,5-%3'ü kadardır. Raspberry Pi bilgisayarı Element 14/Premier Farnell, RS Components ve Egoman firmaları tarafından imal edilmektedir [32].

Raspberry Pi işletim sistemi olarak Debian tabanlı Linux dağıtımları çalıştırmaktadır. Burada başlıca uyumlu işletim sistemi ise Raspbian OS'tir.

Raspberry Pi ucuz bir bilgisayar olsa da tam kullanım için bir klavye, ekran, güç kaynağı, micro SD kart ve mouse gereklidir. Gerekli ekipmanlar Raspberry Pi'nin kendisinden daha fazla maliyetli gibi görünse de günümüzde çoğu yaşam yerinde bu donanımlar mevcuttur. Örneğin; Raspberry Pi'nin üzerinde bulunan hdmi ve ethernet çıkışı sayesinde bir takım yazılımlar ve dönüştürücüler ile görüntü aktarımını eski ve yeni tv ve monitörlere yapmak mümkündür.

Raspberry Pi geçen bu sürede birçok model ve alt model piyasaya sürmüştür. Tezin gerçeklenmesinde kullanılan model Raspberry Pi 3 Model B+'dır. Önceki modeller güncel modelden daha az güç, bağlantı ve hız sahibiydiler. Bununla birlikte çok daha

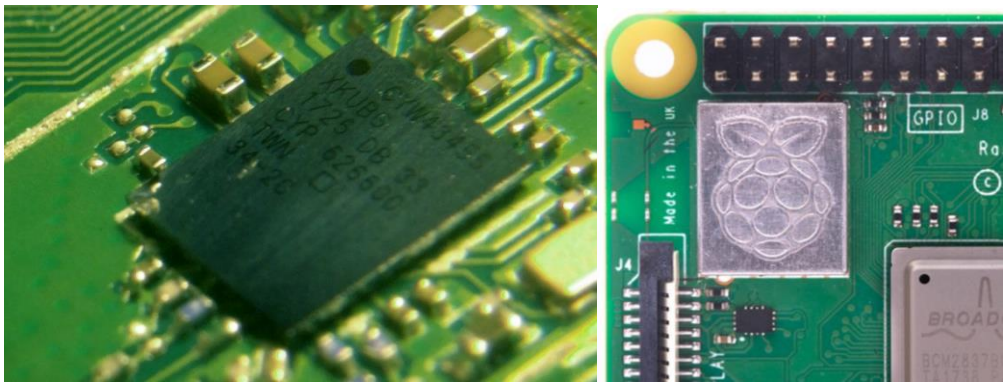
endüstriyel amaçlara yönelik Pi Zero adlı bir model bulunmaktadır. Çok daha küçük boyuta sahip olan bu modelde son güncellemeyle kablosuz 802.11b/g/n Wi-Fi ve Bluetooth 4.0 bağlantı da yerleştirilmiştir. Pi Zero, bilgisayar olarak kullanılmak için daha az uygun olsa da, IoT (internet of things) cihazı olarak ya da diğer akıllı eşyaların üretiminde kullanılmaya daha uygundur [33].

Raspberry Pi 3 B+ modeli 2019 yılı itibariyle en yeni ve güncel modeldir. Önceki modellerle fiziksel boyutlandırmada korunum sağlanmıştır. Fiziksel boyutun korunmasına rağmen içerdiği donanım gücü geliştirilmiştir ve yenilenmiştir. İşlemci hızı 1.4 GHz seviyesine çıkarılmış ve çekirdek sayısı 4 olarak belirlenmiştir. İşlemci mimarisi olarak ARM Cortex-A53 CPU kullanılmıştır. 1GB büyüklüğünde LPDDR2 RAM belleği ve 400MHz hızında çalışan VideoCore IV grafik işlemciyi barındırmaktadır. Kablosuz iletişim için ise çift band (2.4GHz ve 5GHz) destekli 802.11ac uyumlu bir kablosuz ağ yongası ve gigabit ethernet destekli bir USB-ethernet yongası kartta yer almaktadır. Raspberry Pi 3B+ yenilenen ethernet yongası sayesinde önceki modellerden daha hızlı gigabit seviyesinde bağlantı hızı sağlamaktadır. PoE (Power-over-Ethernet) desteği de bu güncel sürümde bulunmaktadır. Bluetooth standardı BLE 4.1'den BLE 4.2'ye terfi etmiştir [33].

Önceki sürümlerde bulunmayan fakat bu sürümde eklenen bir özellik ise Şekil 3.1'de görüldüğü üzere işlemci- chip üzerinde sistem (system on chip) üzerine konumlandırılan metal ısı dağıtıcıdır. Dağıtıcının amacı ısınma sorunları yaşanmadan uzun süre Raspberry Pi'nin kararlı şekilde çalışmasıdır.



Şekil 3.1 Sistemde Bulunan Broadcom BCM2837B0 SoC [34]



Şekil 3.2 CYW43455 WiFi Yongası [34]

Raspberry Pi 3 Model B+'ta Şekil 3.2'de görünen ve kablosuz ağ için kullanılan chip modeli CYW43455'tir. CYW43455 kablosuz ağ yongası bu modelde metal bir korunma altına alınarak hem ısı dağıtımının daha iyi olması hem de EMI/EMC uyumluluk testlerinden daha kolay geçmesi amaçlanmıştır.

CYW43455 üzerinde yer alan RF koruyucuda Raspberry Pi logosu yer almakta.

Model 3 B+'ta gigabit ethernet bağlantısının kullanılması sebebiyle önceden 10/100 Mbps hızındaki bağlantı hızı 10 kat daha artarak 1000 Mbps mertebesine çıkmıştır. Kullanılan ethernet kontrolcüsü aslında RJ-45 soketi kullanılmış bir USB-ethernet dönüştürücüsüdür. Bu nedenle birtakım programlarla ethernet bağlantısı üzerinden normal bir PC'ye görüntü aktarımı yavaş hızlarda da olsa mümkündür. Şekil 3.3'te LAN7515 ethernet yongası görülmektedir [35].



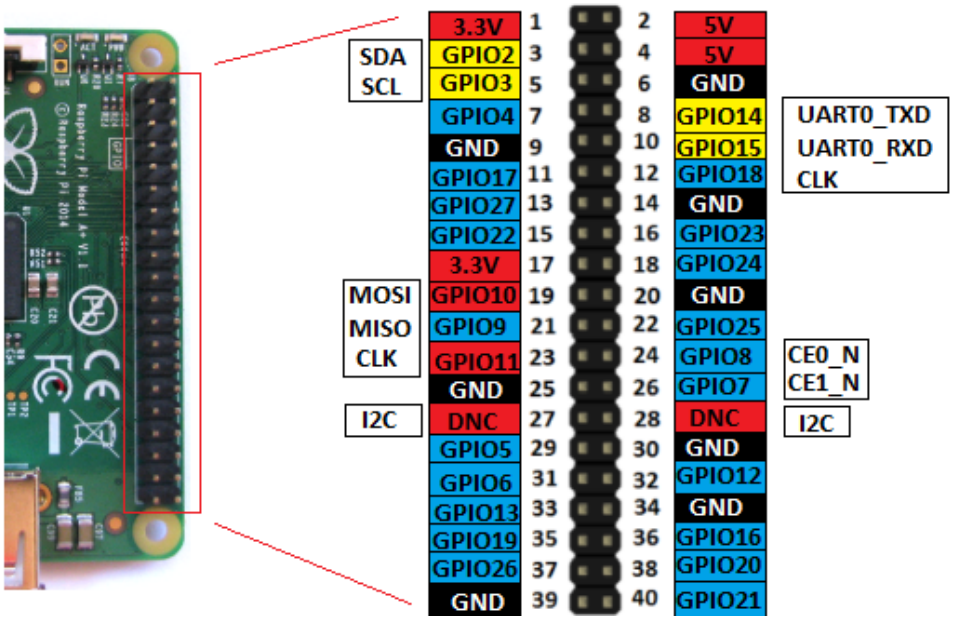
Şekil 3.3 LAN7515 Yongası [34]

Model 3 B+ ile gelen fazla işlem gücünün ihtiyacı olan enerji miktarı önceki modellere göre doğal olarak artış göstermiştir. Üreticiler yeni model için en az 5V/2.5A çıkış verebilen bir güç kaynağı kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Şekil 3.4'te Raspberry Pi Model 3 B+ görülmektedir [33].



Şekil 3.4 Raspberry Pi Model 3 B+ [34]

Raspberry Pi'nin geliştirme pinleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir [36]:



Şekil 3.5 Raspberry Pi Model 3 B+ GPIO Pinleri [36]

Raspberry Pi Model 3 B+'ın sahip olduğu 40 Pin başlığı, herhangi elektronik cihaz ile Raspberry Pi arasında harici bir bağlantı geliştirmek için kullanılır. Pin yapısı önceki sürümlerle aynıdır, eski sürümlerin kullanılabileceği tüm cihazlarla uyumludur.

40 pinden 26'sı dijital I/O pinleri olarak kullanılır ve geri kalan 14 pinden 9'u, belirli görevlere atanmış I/O pinleri olarak kullanılır.

Pin 3 ve 5, 1.8 kΩ dahili yukarı çekme direnci ile ve pin 27 ve 28 de ID EEPROM'a tahsis edilmiş bir şekilde bulunmaktadır. B + modelinde, ilave montaj deliği için daha fazla alan sağlamak amacıyla GPIO başlığı hafifçe yeniden konumlandırılmıştır. B modeliyle uyumlu olan cihazlar B+ sürümüyle çalışabilir; ancak, önceki sürüme aynı şekilde oturmayabilirler [36].

Üzerindeki pinlerin istenilen şekilde programlanması içi Python dili kullanılmaktadır. Pythonda bulunan kütüphaneler ile gömülü bir şekilde giriş çıkış pinleri ayarlanabilmekte ve böylelikle robotik ve endüstriyel uygulamalar başta olmak üzere akıllı ev uygulamalarına varana kadar kolaylıkla kullanılabilmektedir. En büyük avantajı ise diğer geliştirme kartları gibi kontrolcüde bulunan firmware üzerine PC yardımıyla kodlama yapılma zorunluluğunun olmamasıdır. Halihazırda kendi işletim sistemi bulunduğu için yazılımı, kontrolü ve işletmeyi kendi üzerinde yapabilmektedir.

3.2 Raspberry Kamera v1

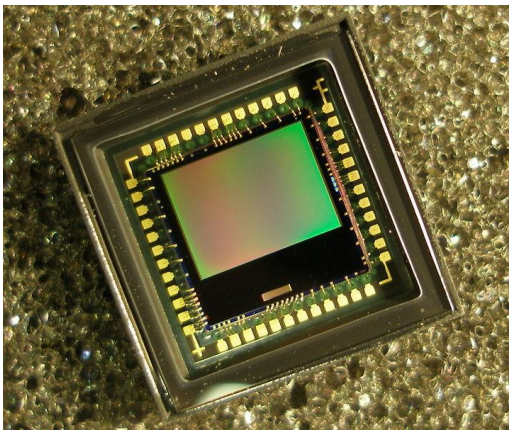
Bir görüntü sensörü veya görüntüleyici, görüntü oluşturmak için kullanılan bilgileri algılayan ve ileten bir sensördür. Bunu, ışık dalgalarının değişken zayıflamasını (nesnelerden geçerken veya yansıtırken) sinyallere, bilgiyi ileten küçük akım iletimlerine dönüştürerek yapar. Bu dalgalar ışık veya başka bir elektromanyetik radyasyon olabilir. Görüntü sensörleri, dijital kameralar, kamera modülleri, tıbbi görüntüleme ekipmanları, termal görüntüleme cihazları, radar, sonar ve diğerleri gibi gece görüş ekipmanlarını içeren hem analog hem de dijital tipteki elektronik görüntüleme cihazlarında kullanılır. Teknoloji değiştikçe, dijital görüntüleme analog görüntülemenin yerine geçme eğilimindedir.

Görünür ışık için ilk analog sensörler video kamera tüpleriydi. Halen, kullanılan türler tamamlayıcı metal-oksit-yarı iletken (CMOS) veya N-tipi metal oksit-yarı

iletken (NMOS, Live MOS) teknolojilerinde yarı iletken şarj bağlı cihazlar (CCD) veya aktif piksel sensörleridir. Görünmez radyasyon için olan analog sensörler, çeşitli tiplerde vakum tüpleri kullanma eğilimindedir. Dijital sensörler düz panel dedektörleri içerir.

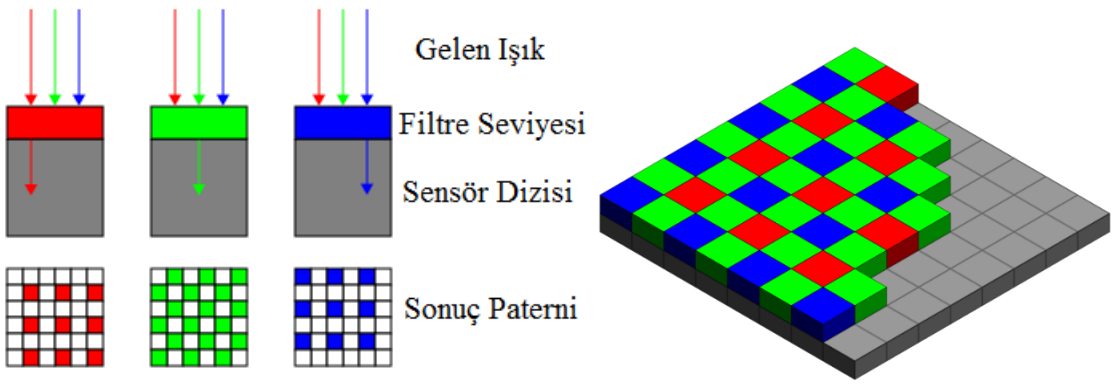
Bir CMOS görüntü sensörü, bir CCD'nin birkaç yükselticisine kıyasla her piksel için bir yükselticiye sahiptir ve böylelikle bir CMOS görüntü sensörünün bir CCD'den daha fazla foton yakalayabilmesi için daha az alan ihtiyaç duyduğunu gösterir, ancak bu problem, her bir fotodiyotun önünde mikrolenslerin kullanılmasıyla, ışığın amplifikatöre çarpmasıyla tespit edilemeyecek olan fotonların, fotodiyot içine odaklandırılmasıyla çözülmüştür. Bazı CMOS görüntüleme sensörleri, fotodiyotu vuran fotonların sayısını artırmak için arka taraf aydınlatmasını da kullanır. CMOS sensörleri potansiyel olarak daha az bileşenle uygulanabilir, daha az güç kullanır ve/veya CCD sensörlerinden daha hızlı okuma sağlar. Ayrıca statik elektrik boşalmalarına daha az hassastırlar [37].

Başka bir tasarım, bir hibrid CCD / CMOS mimarisi (sCMOS), bir CCD görüntüleme alt tabakasına bağlanmış olan kızılötesi yıldız dizileri için geliştirilen ve uyarlanan bir teknoloji olan CMOS okuma entegre devrelerinden oluşur. Başka bir yaklaşım, tamamen CMOS teknolojisinde bir CCD benzeri yapı uygulamak için modern CMOS teknolojisinde mevcut çok ince boyutların kullanılmasıdır: bu tür yapılar tek tek poli-silikon kapılarının çok küçük bir boşlukla ayrılması ile oluşur. Şekil 3.6'da bir CMOS sensör görünmektedir [38].



Şekil 3.6 CMOS Sensör [39]

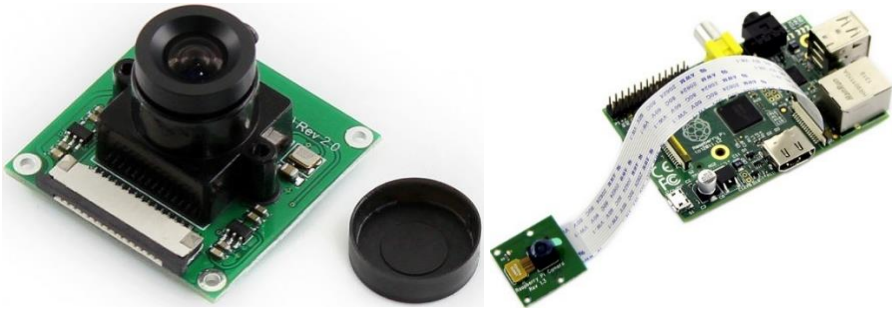
Bayer filtre sensörü, düşük maliyetli ve en yaygın olarak seçili piksel sensörlerine kırmızı, yeşil ve mavi ışık geçiren bir renk filtresi uygulanmasıyla elde edilir. Her bir sensör öğesi, her bir öğenin üzerine yerleştirilen kimyasal boyadan yapılmış bir renk jeliyle kırmızı, yeşil ve maviye karşı hassas hale getirilir. Üretilmesi ucuz olmasına rağmen, bu teknik dikroik filtrelerin renk saflığından yoksundur. Renkli jel segmentin diğerlerinden bir çerçeveyle (vitray pencerelere benzer şekilde) ayrılması gerekmektedir. Bayer filtre sensörünü diğer renk sensörlerinden daha az hassas hale getiren, ışığı yakalamak için bir Bayer filtre sensörünün alan yoğunluğunun benzer boyutlardaki diğer renk sensörlerine göre daha az olmasıdır. Bu kayıp, daha yüksek maliyetle de olsa, daha büyük sensör boyutu kullanılarak ihmal edilebilir. En yaygın Bayer filtre matrisi, iki yeşil piksel ve her biri kırmızı ve mavi için birer tane piksel kullanılan çeşididir. Bu, kırmızı ve mavi renkler için daha az çözünürlükle sonuçlanır ve insan gözünün görsel spektrumunun sınırındaki hassasiyetine karşılık olması için geliştirilmiştir. Eksik renk örnekleri, bir gevşetme algoritması kullanılarak enterpolasyonlu olabilir veya tamamen kayıplı sıkıştırma ile göz ardı edilebilir. Şekil 3.7 ile Bayer filtre çalışma mantığı gösterilmektedir [40].



Şekil 3.7 Bayer Filtre Çalışma Mantığı [41]

Raspberry Pi Kamera Modülü, Raspberry Pi Vakfı'nın resmi bir ürünüdür. Orijinal 5 megapiksel modeli 2013'te piyasaya sürüldü ve 8 megapiksel Kamera Modülü v2 modeli de 2016'da piyasaya sürüldü. Her iki yineleme için de, görünür ışık ve kızılötesi sürümleri bulunmaktadır. Tez çalışmasında kullanılacak olan optik ayar

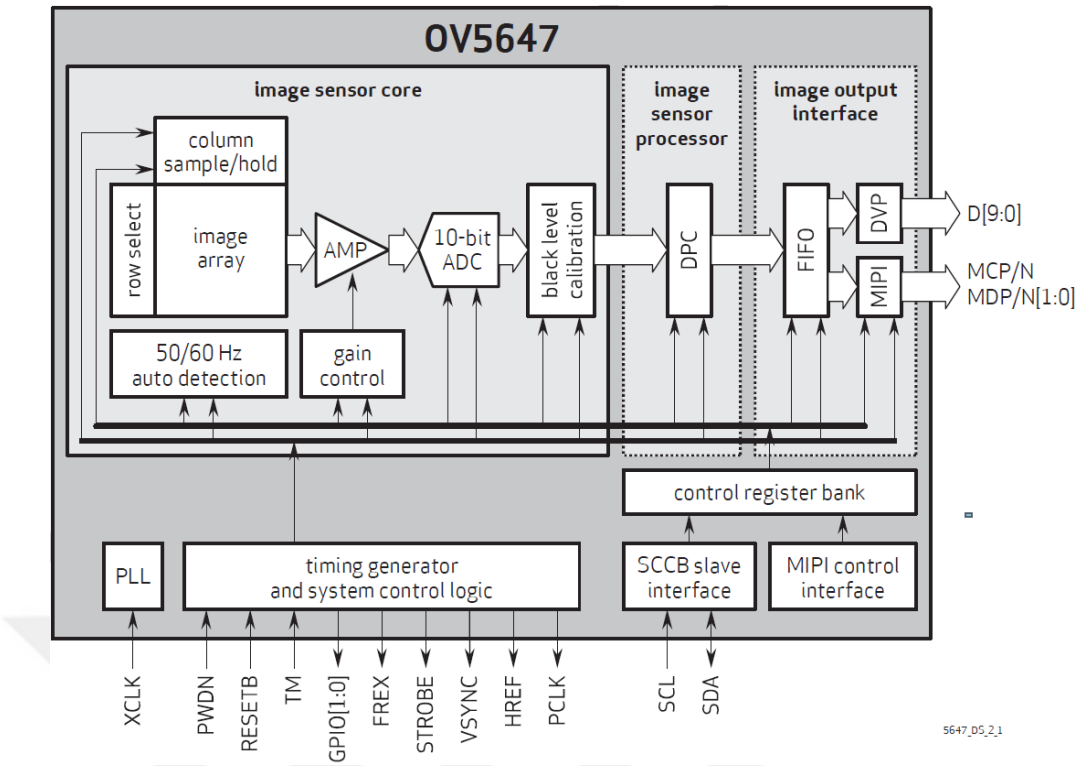
mercekli 5 megapiksel çözünürlüğe sahip v1 Raspberry Pi kameradır ve Ek C'de Raspberry Pi kamera v1 özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.8 Raspberry Kamera v1 ve Bağlantı Şekli [34]

Raspberry Pi kameranın bağlantısı direkt olarak Raspberry Pi 3 Model B+'de bulunan ve grafik işlem birimine direkt bağlantılı olan CSI portuna Şekil 3.8'de gösterildiği gibi yapılmaktadır. USB'den bağlanan kameralara göre ara işlem birimlerinden geçmeden dolayısıyla fazladan işleme maruz kalmadan görüntü iletmesi sebebiyle saniyedeki kare iletim sayısı yüksektir ve işlemciyi yormadan çalışabilmektedir.

OV5647, 2592x1944 video çıkışı sağlayan düşük Voltajlı, yüksek performanslı, 5 megapiksel CMOS görüntü sensörüdür. Şekil 3.9, bu görüntü sensörünün içyapısını göstermektedir. Seri kamera kontrol veri yolu veya MIPI arayüzünün kontrolü ile çoklu çözünürlüklü ham görüntüler sağlar. OV5647, görüntü kalitesi, veri aktarımı, kamera fonksiyonlarının kullanıcı kontrolü ile 2592x1944 çözünürlükte 15 fps'ye kadar çalışabilen bir görüntü dizisine sahiptir. OV5647 sensörünün renk filtreleri Bayer filtre temelinde düzenlenmiştir. Toplam piksel sayısı 5,132,544'dir fakat görntüye dönüşen ve anlamlı çıktısı alınan piksel sayısı ise 5,038,848 (2592x1944)'tir. Diğer pikseller siyah seviye kalibrasyonu ve enterpolasyon için kullanılır [42].

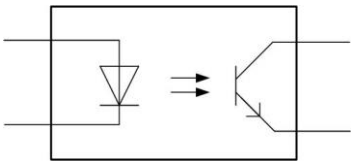


Şekil 3.9 OV5647 İç Yapısı [42]

3.3 Optokuplör

Optokuplör fiziksel olarak birbirinden izolasyonlu olması gereken fakat birlikte çalışma zorunluluğu bulunan devrelerin sinyal olarak kuplajından sorumlu devre elemanıdır. Kontrol hatlarını birbirinden izole eden bu devre elemanının bileşenleri fototransistör ve LED yayıcılardır. Şekil 3.10, fototransistörlü bir optokuplörün temel içyapısı gösterilmektedir [43].

Optokuplör yarı iletken bileşenleri olması sebebiyle yüksek akım ve gerilimlerin kontrolünü de sağlayabilir.



Şekil 3.10 Fototransistör Optokuplör İç Yapısı Örneği [43]

Optokuplör ile yapılan uygulamanın mantığına göre aktivason sinyali optokuplöre geldiğinde içinde bulunan LED yayıcı belirlenmiş frekansta elektromanyetik dalga

yayılımı yapar. Karşılığında bulunan fototransistör ise yayılan bu dalgalarla aktive olur ve iletime izin vererek çıktı sağlar. LED tarafına giriş sinyali verecek devre, üretmiş olduğu sinyal ile çıkıştaki fototransistör tarafına bağlanan devrenin sinyal kontrolünü gerçekleştirmiş olur. Gerçekleştirilen kontrol devrelerin izolasyonu sayesinde herhangi bir ters iletime maruz kalmamış olur.

İçerdiği yarı iletken bileşenlerin çeşidine göre farklı optokuplör tipleri aşağıdaki gibidir:

Diyot Optokuplör: Infrared LED ışık ve silikon fotodiyot sensör kullanır. Hızı yüksektir.

Dirençli Optokuplör: Doğrusal akkor teli lamba, neon lamba veya infrared LED kullanır. Sensör olarak CdS veya CdSe fotodirenç vardır. Hızı genellikle düşüktür.

Transistör Optokuplör: Infrared LED kullanır. Sensör olarak çiftkutuplu silikon fototransistör veya Darlington tipi fototransistör kullanır. Ortalama bir hıza sahiptir.

SCR Optokuplör: Infrared LED ve silikonlu doğrultucu sensör kullanır. Hızı yavaş ve orta arasıdır.

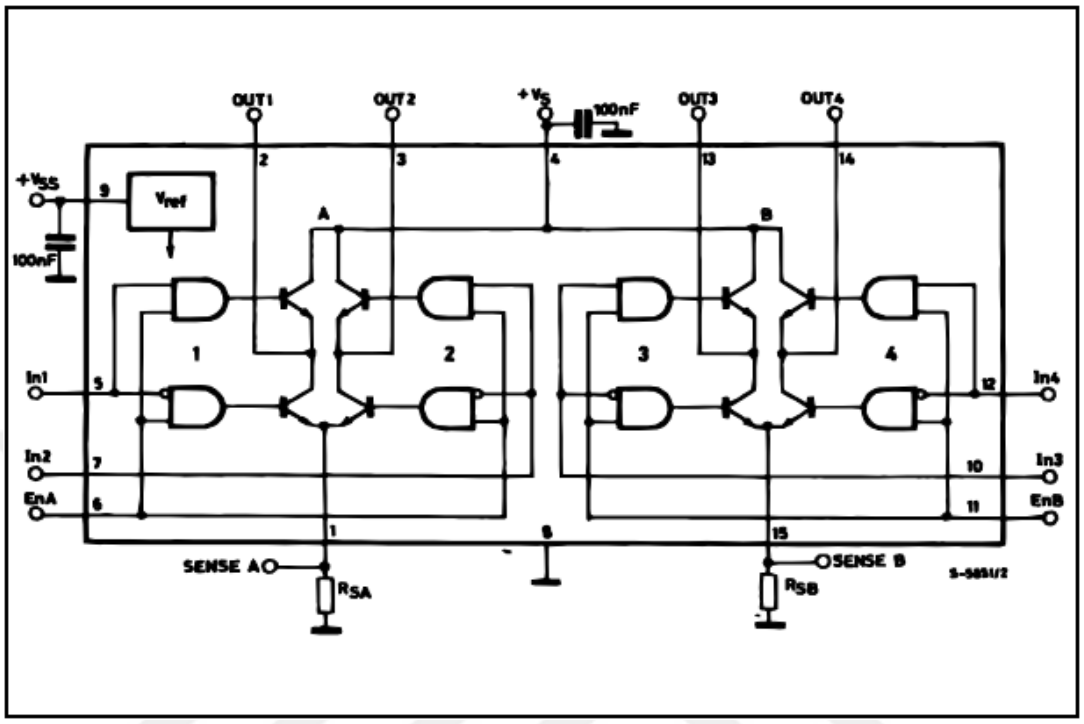
Triak Optokuplör: Infrared LED kullanır. Sensör olarak Triak yani Alternatif Akım Triyodu kullanır. Hızı yavaş ve orta arasıdır.

Katıhal Röle: Infrared LED kümesi ve sensör olarak fotodiyot kümesi kullanır. Hızı yavaştan hızlıya kadar çıkabilmektedir.

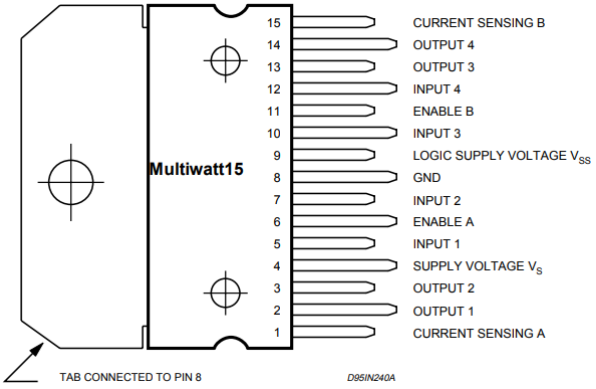
3.4 L298N Çift Köprülü Motor Sürücü Entegresi

L298N, 15 uçlu Multiwatt ve PowerSO20 paketlerinde entegre bir monolitik devredir. Standart TTL mantık seviyelerini kabul etmek ve röleler, solenoidler, DC ve adım motorları gibi endüktif yükleri sürmek için tasarlanmış, yüksek Voltajlı, yüksek akımlı çift tam köprü sürücüsüdür. Cihazı giriş sinyallerinden bağımsız olarak etkinleştirmek veya devre dışı bırakmak için iki etkin giriş sağlanır. Her köprünün alt transistörlerinin yayıcıları birbirine bağlanır ve karşılık gelen harici terminal, bir harici algılama direncinin bağlantısı için kullanılabilir. Lojik düşük Voltajda çalışacak şekilde ek bir besleme girişi sağlanır. Şekil 3.11'de L298N'in iç

devre yapısı görülmektedir. Ek B'de L298N'de bulunan pinlerin fonksiyonları ve L298N ile yapılabilecek bağlantılar ve çalışma koşulları için elektrik karakteristik özellikleri verilmektedir [44].



Şekil 3.11 L298N İç Yapısı Blok Diyagramı [44]



Şekil 3.12 L298N Pin Diyagramı [44]

Sürücü modülü iki motor sürebilir. Etkinleştirilmiş terminaller ENA ve ENB (enable pinleri) yüksek düzeyde etkilidir. Kontrol modu ve A motorunun durumu, Tablo 3.1'te gösterildiği gibidir:

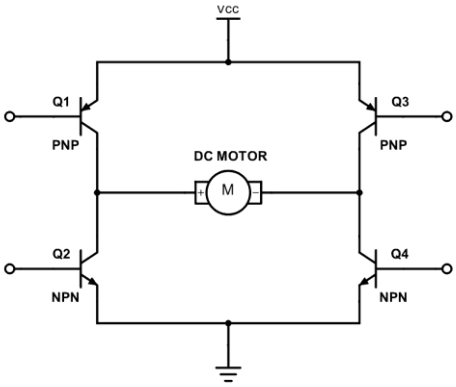
Tablo 3.1 Kontrol Modu ve A Motorunun Durumu için İç Yapıya Göre Mantık Tablosu

ENA	INl	IN2	A Motorunun Durumu
0	X	X	Eylemi Durdur
1	0	0	Dur (Frenle)
1	0	1	Saat Yönüne Dön
1	1	0	Saat Yönünün Tersine Dön
1	1	1	Dur (Frenle)

A motorunun hızının PWM ile ayarlanması için IN1 ve IN2'nin ayarlanması, motorun dönme yönünün doğrulanması ve ardından etkin terminaller için PWM sinyallerinin verilmesi gerekir. Etkinleştirilmiş terminalin (EN terminalleri) sinyali 0 olduğunda motor serbest durma durumunda olacaktır. Etkin sinyal 1 olduğunda, IN1 ve IN2 00 veya 11 ise, motor fren durumundadır ve motorun dönmesi durur. IN1 0 ve IN2 1 ise, motor A saat yönünde döner; IN1 1 ve IN2 0 ise, motor A saat yönünün tersine döner. Bu, A motorunun kontrol yöntemidir. B motorunun kontrol yöntemi, A motorununkiyle aynıdır.

Motor yönü, her motor (veya kanal) için sürücüye YÜKSEK veya DÜŞÜK bir sinyal gönderilerek kontrol edilir. Örneğin, IN1'e gelen bir YÜKSEK sinyali ve IN2'ye gelen bir DÜŞÜK sinyali bir motorun bir yöne doğru dönmesine neden olacaktır.

L298N elektrik motorlarını sürmek üzere tasarlanmış bir entegre tümleşik devredir. 2 Amper akıma kadar iletebilir. Yüksek akım kapasitesi sayesinde küçük ölçek robotlarda çekiş gücü yüksek motorların sürülmesinde daha çok tercih edilir. L298N, H köprüsü adıyla tanımlanan basit anlatımla dört adet transistorün anahtarlanması mantığıyla çalışan, motorları her iki dönüş yönünde sürmeye yarayan yapılardan iki adet içerir. Şekil 3.13'te örnek bir H köprüsü yapısı görülmektedir [44].



Şekil 3.13 Örnek Bir H Köprüsü Yapısı

Yapısı H harfine benzediğinden dolayı H köprüsü olarak adlandırılmıştır. L298N toplam 15 adet pin sahibidir. Bu pinlerden IN1, IN2, OUT1, OUT2, ENA, SENSA A köprüsü için, IN3, IN4, OUT3, OUT4, ENB, SENSB B köprüsü içindir [44].

I1, I2 (5,7): Bu pinler A köprüsü için olan girişlerdir. +5 Volt ile çalışır. IN1'e 5V, IN2'ye 0V uygulandığında motor bir yönde, tam ters gerilimler uygulandığında ise motorlar ters yönde dönmektedir. Her iki pine de aynı değer uygulanırsa (0V-0V veya 5V-5V) motor dönmeyecektir.

I3, I4 (10,12): Bu pinler B köprüsü için olan girişlerdir. A köprüsü pinlerindeki girişler ile aynı durumlar ve koşullar geçerlidir.

OUT1, OUT2 (2,3): A köprüsü çıkış pinleridir. Bu pinler motorun iki ucuna girilmelidir. Motorların yükte çalıştığı esnada oluşabilecek ters akımı önleyebilmek adına diyot, direnç vs. elemanlar ile önlemler alınmalıdır. Sunulan devrede bu temel korumaya ek ve bu korumadan üst seviyede olacak şekilde Raspberry Pi ile sürücü arasında ise optokuplör ile izolasyon sağlanmıştır.

OUT3, OUT4 (13,14): B köprüsü çıkış pinleridir. A köprüsüyle aynı durumlar geçerlidir.

EN_A, EN_B (6,11): A ve B köprülerini etkinleştirmek için bu bacaklara +5 Volt bağlanmalıdır.

SESA, SESB (1,15): A ve B köprülerinin çalışması için bu pinler topraklanmalıdır. Bu pinlerle toprak arasına bağlanacak direnç sayesinde çıkış akımı kontrol edilebilir, fakat bu pine direnç bağlanması zorunlu değildir.

VS (4): Çıkışlardaki gerilim seviyesinin kaç Volt olması isteniyorsa bu pin ihtiyaç olunan gerilim seviyesine bağlanmalıdır. L298N'in özelliği olarak en fazla 46 Volt Vs uygulanabilir, gerçeklenen devrede ise güç kaynağının gerilimi 5 Volttur. DC gerilim seviyesinde olabilecek küçük salınımları yok edebilmek maksadıyla bu pin ile toprak bağlantısı arasına 100nF' lık kondansatör bağlanır.

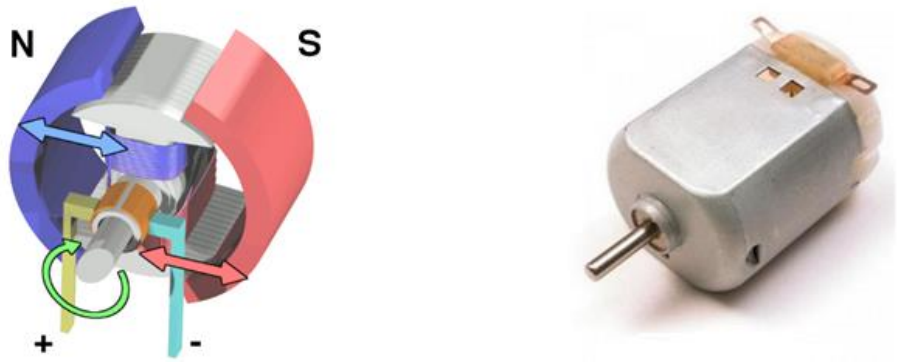
VSS (9): Bu pin, L298N' in kendi besleme pinidir. L298N kendi çalışma koşulu olarak 5 Volt gerilime ihtiyaç duymaktadır. Yine küçük salınımları yok etmek için VSS ile toprak arasına 100nF'lık kondansatör bağlanmalıdır.

GND (8): L298N' in toprak pinidir.

3.5 Motor

Bir Doğru Akım (DC) motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye doğru akım indüksiyonunu kullanarak dönüştüren bir elektrikli cihazdır. DC motorun içindeki bir endüktör (bobin) terminallerine DC gerilim uygulandığında döner hareket oluşturan manyetik bir alan üretir. Motorun içinde, bir tel bobinine sarılı bir demir şaft bulunur. Bu şaft, her iki taraftan da sabit ve çekici bir kuvvete neden olan ve böylece tork üreten iki sabit, kuzey ve güney mıknatısı içerir. Şekil 3.14'te örnek bir DC motor görülmektedir [45].

Redüktör, motorlarda devir-güç ayarını değiştirmeye yarayan bir dişli sistemidir. Motorlara redüktör bağlanarak devir düşürülerek tork yükseltilebilir. Böylece motorun hızı ya da gücü motorun kullanılacağı projeye ya da makineye göre ayarlanabilir.



Şekil 3.14 Örnek Permanent Magnet DC Motor [46]

Şekil 3.15'te görüldüğü üzere bir redüktörlü motor, bir motor ve dişli kutusunu içerir. Bir motora dişli kafası eklenmesi, tork çıkışını arttırırken hızı da düşürür. Redüktörlü motorlarda en önemli parametreler hız (rpm), tork (lb-in) ve verimliliktir (%).



Şekil 3.15 Redüktörlü DC Motor [46]

Motor seçim süreci, kavramsal tasarım aşamasında, zor olabilir. Aşağıdaki kilit noktalar, uygulama için en uygun motor veya dişli motorunun belirlenmesine yardımcı olabilir.

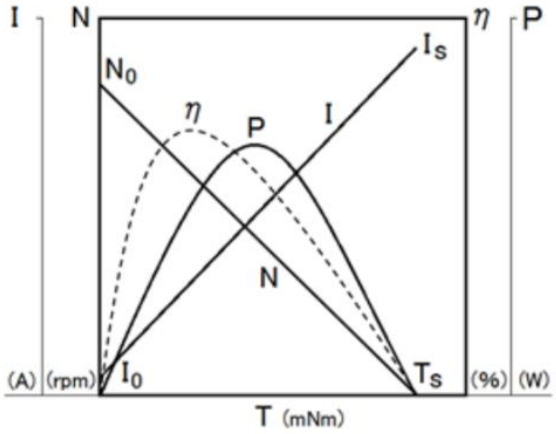
Tasarım hesaplamaları; dişli oranı, tork, döner kütle, servis faktörü, aşırı yüklenme ve test analizinde çıkabilecek olasılıkları belirler.

Tasarım hesaplamaları yapıldıktan ve uygulama parametreleri tanımlandıktan sonra, yapılacak uygulamaya en uygun motorun tipinin ve özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir motor veya dişli motor seçerken göz önünde bulundurulması gereken en yaygın özelliklerden bazıları:

- Voltaj
- Akım
- Güç
- Tork (Dönüş Momenti)
- RPM (dakikada devir sayısı)
- Yaşam Beklentisi / Görev Döngüsü
- Dönme (CW veya CCW)

- Mil Çapı ve Uzunluğu
- Muhafaza Kısıtlamaları

Bir motor performansı ve dişli redüktör performansı, üç spesifik parametre ile gösterilerek Şekil 3.16'da gösterildiği gibi tek bir grafikte birleştirilir. Bu üç parametre devir, tork ve verimliliktir. Uygulama için seçilecek motor bu grafik üzerinden değerlendirilerek seçilmektedir [47].



Şekil 3.16 Bir DC Motorun Devir-Verim-Tork-Güç Grafiği [47]

Motor ile ilgili tabirlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir [48]:

Hız / Devir (N) - (birim: dev / dak) , redüktörün momenti ile hız arasındaki ilişkiyi gösteren düz bir çizgi olarak ifade edilir. Bu hat gerilim artışına veya azalmasına bağlı olarak eksende kayacaktır.

Akım (I) - (ünite: A) yüksüz halden tam motor kilidine kadar düz bir çizgi ile gösterilir. Bu amper ve tork arasındaki ilişkiyi gösterir.

Tork (T) - (birim: gf-cm) bu, X ekseninde gösterilen motor şaftı tarafından taşınan yüktür.

Verimlilik (η) - (birim:%) , kesikli çizgi ile gösterilen giriş ve çıkış değerleri ile hesaplanır. Dişli motorlarının potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için, maksimum verimine yakın kullanılmalıdır.

Çıkış (P) - (birim: W) , dişli motorunun çıkardığı mekanik enerji miktarıdır.

Motor seçiminde yukarıda bahsedilen kriterler kadar önemli bir konu ise motor kontrol edilirken sinyal iletme süresine göre motor kontrolörünün ve motorun belirli süre içerisinde vereceği tepki olacaktır. Saniyede işlenebilen görüntü karesi sayısı F, birimi fps (frame per second- saniyedeki görüntü karesi sayısı) ve 1 görüntü karesinin işlenmesi için geçen süre t olmak üzere t sürede alınabilecek teorik mesafeye x_t denilebilir ve Eşitlik 3.1 ile bulunabilir. v_t ise t süresinde ulaşılabilecek teorik hızdır ve Eşitlik 3.2 ile hesaplanabilir. Buraya kadar verilen girdiler dijital kısımda yapılacak işleme sürelerinin fiziksel tarafa yansımalarını yaklaşık bir değerde hesaplayabilmek adına oluşturulmuştur. v_m kullanılacak motorun dönüş hızına ve sahip olduğu yarıçap değerine göre dakikada ulaşacağı m/s cinsinden hız değeridir ve Eşitlik 3.3 ile hesaplanabilir.

Eşitlik 3.4'te de görüleceği üzere seçilecek motorun dakikada tamamlayacağı tur sayısıyla ve çapıyla ilişkili olarak ulaşacağı çizgisel hız, dijital işleme tarafından gelecek ve işleme sürelerine bağlı robota kazandırılabilecek teorik hız değerini geçmemelidir. Motorun hızı, teorik hız değerini aştığı anda görüntü işleme ve motor kontrolü prosesi motor hızına yetişemeyerek istenen takip fonksiyonunu gerçekleştiremeyecektir. Motorun fiziksel olarak dakikada tamamlayacağı tur sayısı N, motora bağlı tekerlek yarıçapı r olmak üzere aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$\mathrm{t} = \frac{1\ sn}{\mathrm{F}} \tag{3.1}$$

$$v_t = \frac{x_t}{\mathrm{t}} \tag{3.2}$$

$$v_m = \frac{N}{60\ \mathrm{sn.}}\ \mathrm{x}\ 2\pi\mathrm{r} \tag{3.3}$$

$$v_m \leq\ v_t \tag{3.4}$$

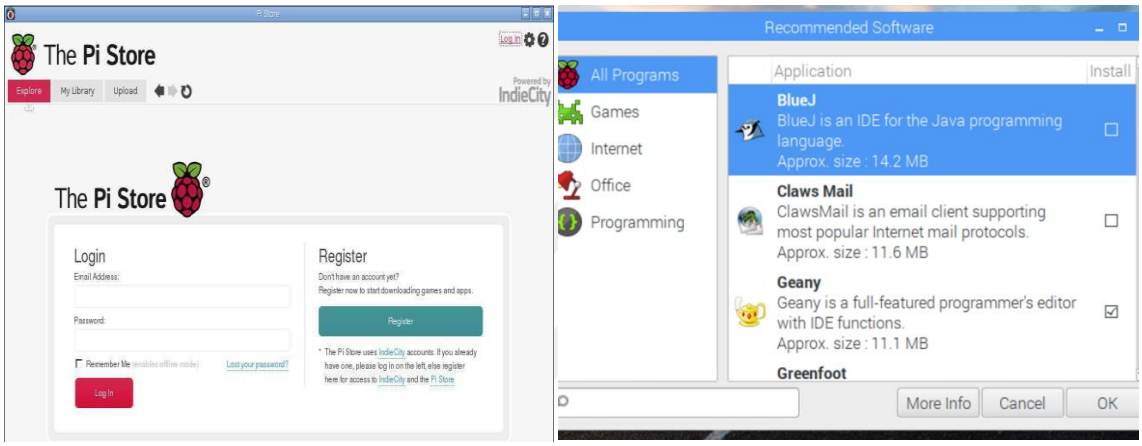
olmalıdır.

3.6 Raspbian İşletim Sistemi

Raspbian, Debian GNU / Linux tabanlı ve Raspberry Pi donanımı için optimize edilmiş ücretsiz bir işletim sistemidir. Raspbian, bir Raspberry Pi'ye kolay kurulum için 35.000'den fazla paket veya önceden derlenmiş bir yazılımla birlikte gelir. İlk inşa, 2012 yılının Haziran ayında tamamlandı, ancak dağıtım mümkün olduğu kadar

amacıyla geliştirilmeye devam edilmektedir. Debian, ARM mimarisi için bir dağıtım üretmektedir ve yalnızca Raspberry Pi (ARMv7-A CPU'lar ve Raspberry Pi'nin ARMv6 CPU'su karşısında daha yüksek) sürümleriyle uyumludur [49].

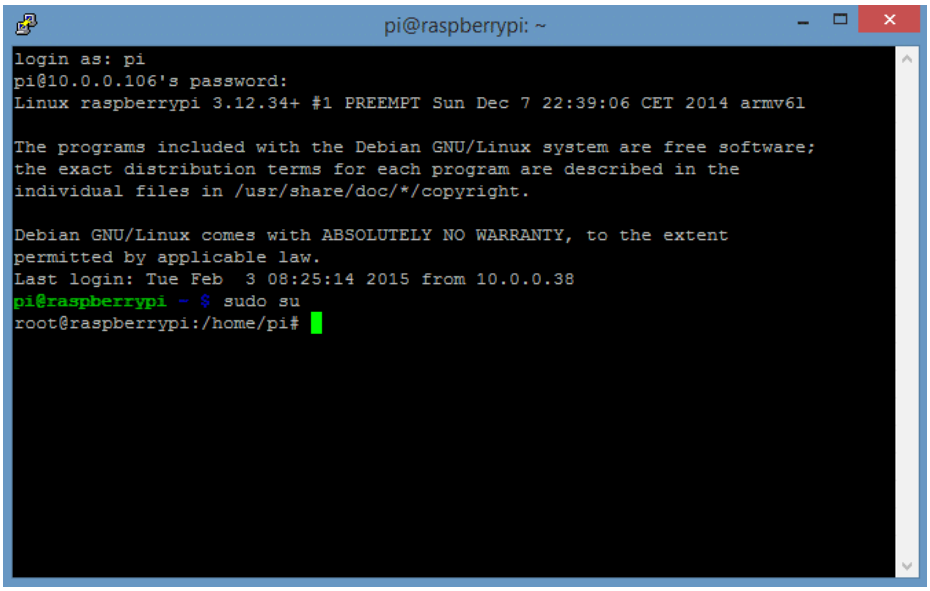
Raspbian işletim sisteminde herhangi bir masaüstü bilgisayardan beklenecek tüm işlemleri gerçekleştirebilecek yazılımlar mevcuttur. Raspbian kendi içinde hazır kurulu gelen yazılımlar ve Linux tabanlı sistemlerin vazgeçilmezi olan paket yükleyicisi ile beraber gelmektedir. Paket yükleyicileri, Linux tabanlı sistemlerde uygulama mağazaları mantığıyla internete bağlantılı bir açık kaynak kodlu yazılım indirme dünyasıdır. Şekil 3.18, Raspbian için uygulamaların bulunduğu uygulama mağazasını göstermektedir.



Şekil 3.17 Raspbian Online Uygulama Mağazası

Raspbian işletim sisteminde bulunan Pi Store arayüzü ile birçok farklı uygulama kullanıcıları herhangi bir fonksiyondan eksik bırakmayacak şekilde indirilebilir ve kurulabilir. Arayüzden indirilen uygulamalar Raspberry Pi'nin sahip olduğu ARM tabanlı işlemcilere göre optimize edilmiş ve uyumlu çalışması sağlanmıştır.

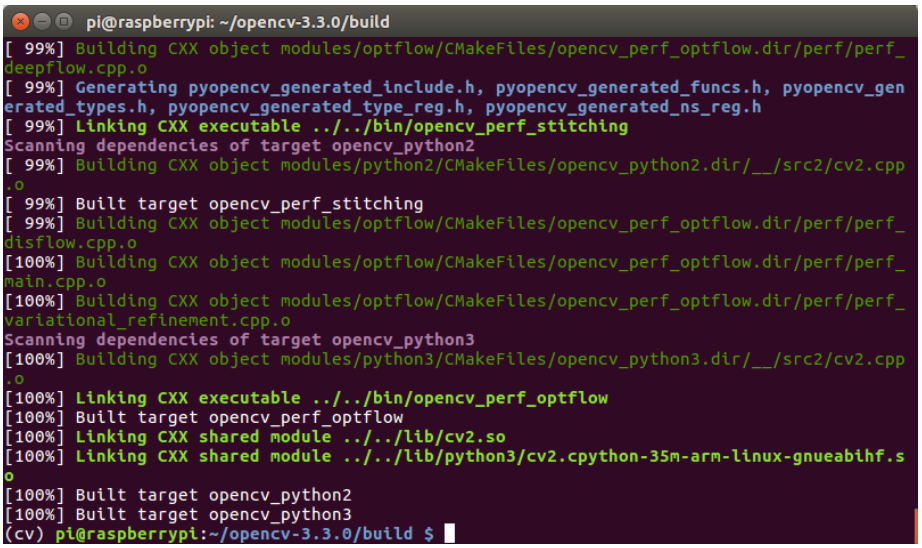
Raspbian işletim sistemi Debian/Linux tabanlı bir işletim olması sebebiyle Python dilinin derleyicisi varsayılan yüklenmiş yazılım olarak gelir ve istenildiği takdirde kendi terminalinden Python kodları direkt olarak çalıştırılabilir. Terminal Linux sistemlerde bulunan komut penceresidir ve terminalde yazılan komutlarla işletim sistemindeki işlemler mouse yardımı olmadan gerçekleştirilebilir. Şekil 3.19'da Raspbian için terminal penceresi gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Raspbian Terminal Penceresi

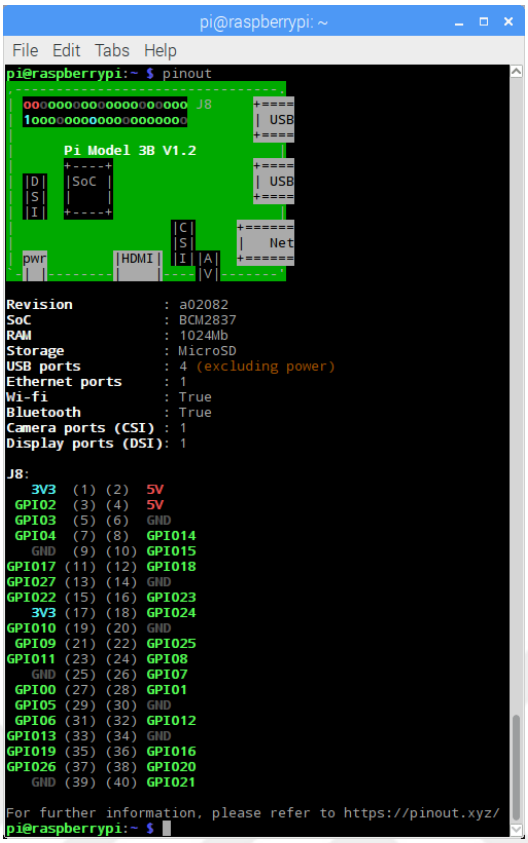
Raspbian işletim sisteminde USB'den tak kullan aygıtları için normal Intel tabanlı bir PC'de olduğu gibi sürücüler hazır ve önyüklü olarak gelir.

Raspbian işletim sisteminde Python dilinin herhangi bir eklenti kurulmadan çalışması ise görüntü işleme konusunda özellikle OpenCV'nin kullanımı açısından kolaylık sağlamaktadır. Herhangi bir editörde hazırlanan kod kolaylıkla terminalde çalıştırılabilir. OpenCV'nin Raspbian işletim sistemine kurulması için birçok kaynak ve yol gösterici vardır. OpenCV kurulumu paketlerin yoğunluğu sebebiyle uzun sürmektedir fakat 4 çekirdekli Raspberry Pi işlemicisinin kurulum için kullanılacak çekirdek sayısının işlem sırasında seçilebilmesi sayesinde bu süre azaltılabilmektedir[49].



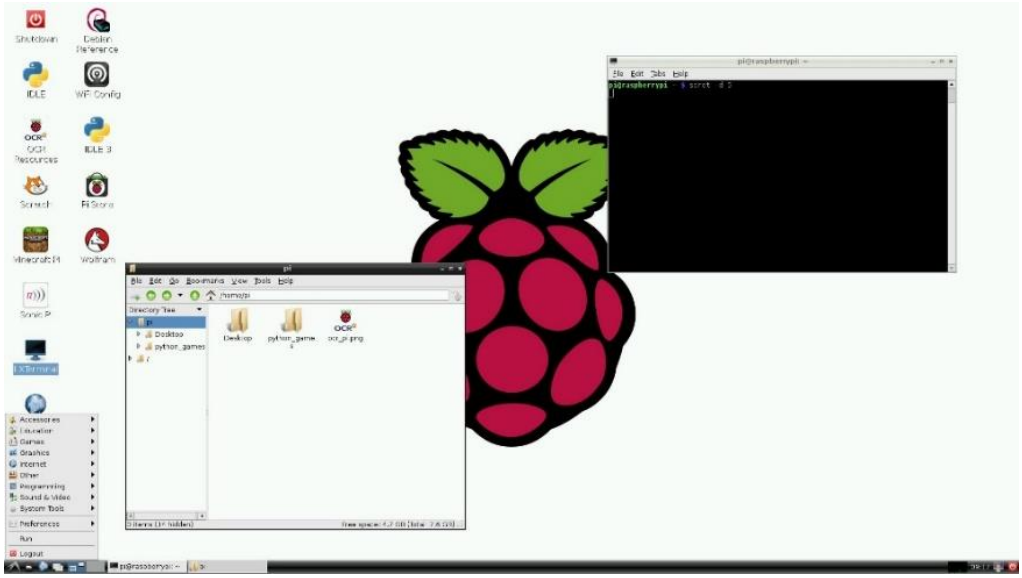
Şekil 3.19 Raspbian OpenCV Kurulum Penceresi

Şekil 3.20, OpenCV kurulum anını göstermektedir. OpenCV kurulu bir Raspbian işletim sisteminde C, C++, Python veya Java dilinde yani OpenCV'nin desteklediği her dilde geliştirme yapabilmek mümkündür. Bunların arasında Python dilinin varsayılan yüklü dil ve derleyicisiyle gelmesinin yanısıra bir diğer avantajı ise Raspberry Pi'de bulunan kontrol portlarının kullanımına olanak sağlamasıdır. I/O portlarının kontrolü için özelleştirilmiş olan Raspbian işletim sisteminde Python dili ile tez konusu olan görüntü işleme işlemleri ve port kontrolü işlemlerini tek bir kod altında toplamak okunabilirlik, tek dilde düzenleme ve sadelik adına önemlidir fakat bir zorunluluk değildir. Diğer dillerde geliştirilen görüntü işleme kodunun çıktıları Python aracılığıyla port kontrol koduna entegre edilerek veya çağrılarak çalıştırılabilmektedir. Bu konuda Raspbian gerekli esnekliği kullanıcılara sağlamaktadır. Şekil 3.21'de Raspian terminalinde Rasberry Pi'nin sahip olduğu GPIO portlarının görüntülenmesi yer almaktadır.



Şekil 3.20 Raspbian Terminalinde Raspberry Pi GPIO Pinlerinin Görünümü

Raspbian işletim sistemi aynı Raspberry Pi kartlarında olduğu gibi sürekli geliştirilmektedir ve güncellenmektedir. Şekil 3.22'de Raspbian masaüstü görünümü verilmiştir.



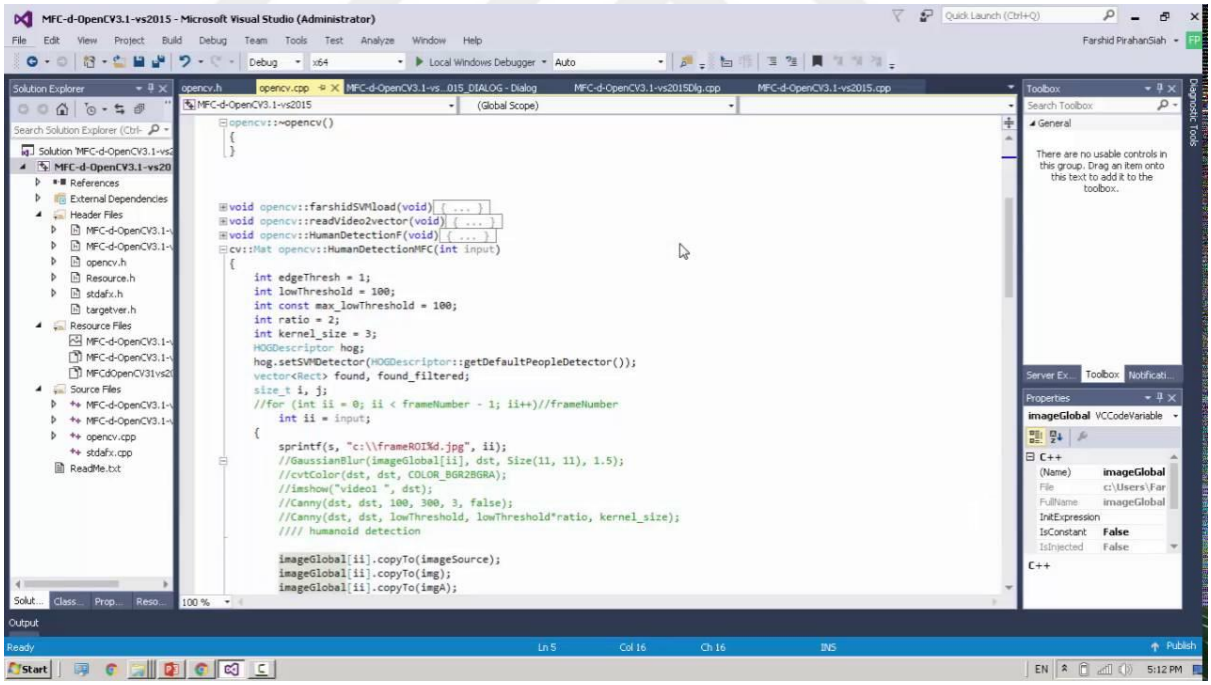
Şekil 3.21 Raspbian Masaüstü Görünümü

3.7 OpenCV

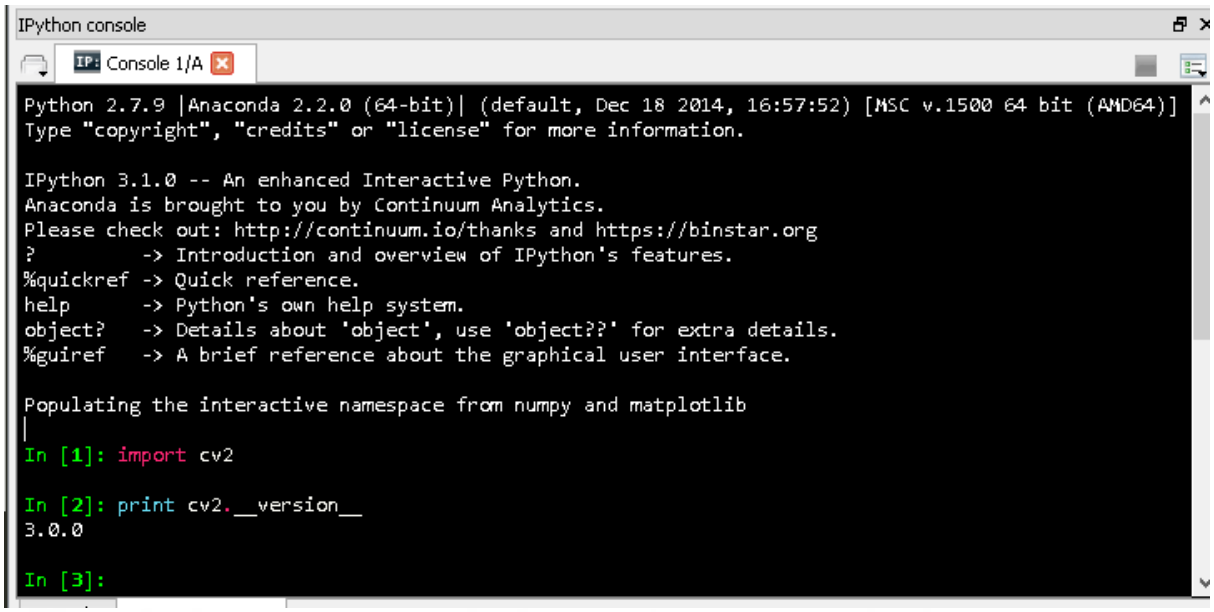
Open Computer Vision teriminin kısaltmasını isim olarak kullanan OpenCV, görüntü işleme amacıyla 1999 yılında Intel'in Rusya ofisinde oluşturulmuş açık kaynak kodlu kütüphanedir. SourceForge tarafından geliştirilmesine devam edilmektedir, 2018 yılı itibariyle 4.x.x sürümleri oluşturulmaktadır [50].

OpenCV platformdan bağımsız olarak çalışabilmektedir. OpenCV'yi çalıştırabilmek için gerekenler listesinde başta C dili olmak üzere programlama dillerini derleyebilen herhangi bir platform bulunmaktadır. Başta C için düzenlenen OpenCV sonrasında Python dili için derlenmiştir. Son dönemde JavaCV projesi adı altında Java dili içinde de OpenCV kütüphanesi çalıştırılabilmektedir. Şekil 3.23'te OpenCV'nin C++, Şekil 3.24'te ise Python için arayüzü görülmektedir.

Görüntü işlemenin alanı gün geçtikçe arttığından ve hâlihazırda geniş bir skalaya sahip olması sebebiyle OpenCV, barındırdığı fonksiyonlarını beş adet temel kütüphane içinde tanımlayan büyük bir oluşuma dönüşmüştür.



Şekil 3.22 OpenCV C++ Arayüzü



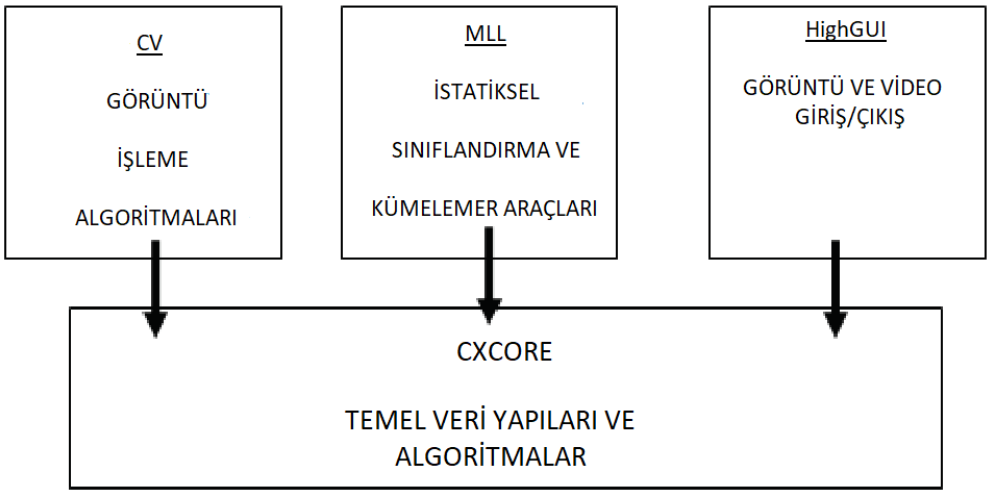
Şekil 3. 23 OpenCV Python Arayüzü

OpenCV'nin de katkısıyla bilgisayarlı görme uygulamalarında artış olmuş ve geliştiriciler imkanlara daha kolay ulaşabilir duruma gelmişlerdir. Böylelikle bu alanda yapılan çalışma sayısında da artış olmuştur. Aşağıda görüntü işlemenin kullanıldığı örnek sistemler belirtilmiştir:

- Nesne Kimliklendirme, Bölümleme ve Tanıma (Object Identification, Segmentation and Recognition),
- Yüz Tanıma (Face Recognition),
- İşaret Dili Tanıma (Gesture Recognition),
- Hareket Yakalama, Algılama ve Takibi (Motion Capture, Detection and Tracking),
- Çiftli ve Çoklu Kamera Kalibrasyonu ve Derinlik Hesaplama (Stereo and Multi- Camera Calibration and Depth Computation),
- Kamera Kalibrasyonu (Camera Calibration),
- Üç Boyutlu Görme (Three-Dimensional Vision),
- Medikal Resim İşleme (Medical Image Processing),
- Hareketli Robot Teknolojileri (Moving Robot Technologies).

OpenCV'nin barındırdığı alt kütüphanelere ek olarak grafik kartı üreticilerinin oluşturduğu performans artırmaya yönelik hazırlamış olduğu kütüphaneler de kullanılır. Bazı üreticiler üretmiş olduğu bu yardımcı kütüphaneleri belli bir ücret karşılığında satmaktadır. Örnek olarak Intel firması üretmiş olduğu IPP (Intel Performance Primitives) kütüphanelerini son kullanıcıya ulaştırabilmektedir. Bu kütüphane genellikle multimedya işlevleri için kullanılır.

OpenCV, alt kütüphanelerinde görüntü işleme fonksiyonlarını gruplandırmıştır. MLL, CXCKORE, HighGUI ve CV birbirlerini tamamlayan dört ana alt kütüphanedir. CXAux ise bu dört kütüphane ile oluşuturulan sonuç verilerine deneysel işlemler uygulayarak sistemlerin nominal tepkiler vermesi amacıyla çözümler üretir. Şekil 3.25'te OpenCV'nin içerdiği alt kütüphaneler gösterilmektedir [51].



Şekil 3.24 OpenCV Bileşenleri ve Alt Kütüphaneler

CV alt kütüphanesi, resim görüntü veya video görüntüler üzerinde yüksek seviyeli algoritmalar ile görüntü işleme yapabilen temel bileşenlerden biridir. Görüntü verilerini işleyerek morfolojik temel işlemler, hareket analizi, yapısal analiz, nesne takibi vb. işlemlerini barındırdığı algoritmalar ile yapabilir. CV alt kütüphanesinin içinde bulundurduğu kimi fonksiyonlar aşağıda belirtilmiştir.

- Gradientler, Kenarlar ve Köşeler (Sobel, Laplace, Canny).
- Morfolojik işlemler (CreateStructuringElementEx, Erode, Dilate).
- Filtre ve Renk Dönüşümleri (Smooth, Filter2D, CvtColor).

- Görüntü Bölütleme (CvConnectedComp, FloodFill, FindContours).
- Histogramlar (CvHistogram, CreateHist, ReleaseHist, ClearHist).
- Yapısal Analiz
- Kontur İşleme (ApproxChains, ReadChainPoint, ApproxPoly).
- Hesaplamalı Geometri (MaxRect, CvBox2D, BoxPoints, PointPolygonTest).
- Düzlemsel Alt Bölümler (CvSubdiv2D, CvQuadEdge2D, CvSubdiv2DPoint, Subdiv2DLocate).
- Hareket Analizi ve Nesne Takibi
- Nesne Takip (MeanShift, CamShift, SnakeImage).
- Optik Akış (CalcOpticalFlowHS, CalcOpticalFlowLK, CalcOpticalFlowBM).
- Hareket Şablonları (UpdateMotionHistory, CalcMotionGradient, CalcGlobalO- rientation, SegmentMotion).
- Örüntü Tanıma
- Nesne Algılama (CvHaarFeature, CvHaarClassifier, CvHaarStageClassifier, CvHaarClassifierCascade).
- Kamera Kalibrasyonu ve 3D yeniden yapılandırma
- Kamera Kalibrasyonu (ProjectPoints2, FindHomography, CalibrateCamera2, Rodrigues2, Undistort2).
- Tahmin Poz (CreatePOSITObjet, ReleasePOTSITObject, CalcImageHomog- raphy).

MLL alt kütüphanesi, makine öğrenmesi fonksiyonları ile CV alt kütüphanesinde işlenmiş olan görüntüler üzerinden çıkarım işlemleri yapabilmektedir. Yapılan çıkarım işlemleri yöntem olarak iç fonksiyon ve algoritmalar ile elde edilen işlenmiş görüntü verilerini sınıflayabilir ve geliştirilen uygulamaya göre giriş parametreleri baz alınarak veri analizi sayesinde istatiksel çıkarım ve sonuçlar sağlayabilir. MLL alt kütüphanesinde aşağıda belirtilen fonksiyonlar tanımlanmıştır:

- Ortak sınıflar ve fonksiyonlar; makine öğrenmesi, istatistiksel modeller için temel sınıf (CvStatModel)
- Normal Bayes sınıflandırıcılar; normal dağılım verileri için Bayes sınıflandırıcı (CvNormalBayesClassifier)
- K-En Yakın Komşuluk modeli (CvKNearest)
- Destek Vektör Makineleri (CvSVM, CvSVMParams)
- Karar verme ağaçları (CvDTreeSplit, CvDTreeNode, CvDTreeParams, CvDTreeT- rainData, CvDTree)
- Artırıcılar (CvBoostParams, CvBoostTree)
- Rastgele ağaçlar (CvRTParams, CvRTrees)
- Beklenti Maksimizasyonu (CvEMParams, CvEM)
- Yapay sinir ağları (CvANN_MLP_TrainParams, CvANN_MLP)

CXCore alt kütüphanesinde görüntü işleme fonskiyonları için veri yapıları tanımlanmıştır. Bu kütüphane sayesinde xml desteği de sunulmaktadır.

CXCore içinde elde edilen veriler için aşağıdaki yapılar tanımlanmıştır:

- Temel yapıları (CvPoint, CvPoint2D32f, CvSize, CvRect, CvScalar, CvMatIpIImage, CvArr),
- Dinamik yapıları (Diziler: CvSeq, CvSlice vs. Grafikler; CvGraph, CreateGraph vs. Ağaçlar; CvTreeNodeIterator, InitTreeNodeIterator, NextTreeNode vs.),
- Diziler üzerinde işlemleri (Kopyalama ve Dolum; Copy, Set, Range. Dönüşümler; Reshape, Repeat, Split Flip dizi elemanlarına erişme, matematiksel işlemler),
- Çizim (Eğriler; CV_RGB, Line, Rectangle vs. ve Metin; InitFont, PutText, Get-TextSize) fonksiyonları
- Veri tipi oluşturma (Dosyalama; CvFile Storage, CvFileNode, CvAttrList vs. Yaz- ma; StartWriteStruct, EndWriteStruct, WriteInt vs. Veri Okuma; GetRootFileNode, GetFileNode, ReadInt, ReadReal vs.)

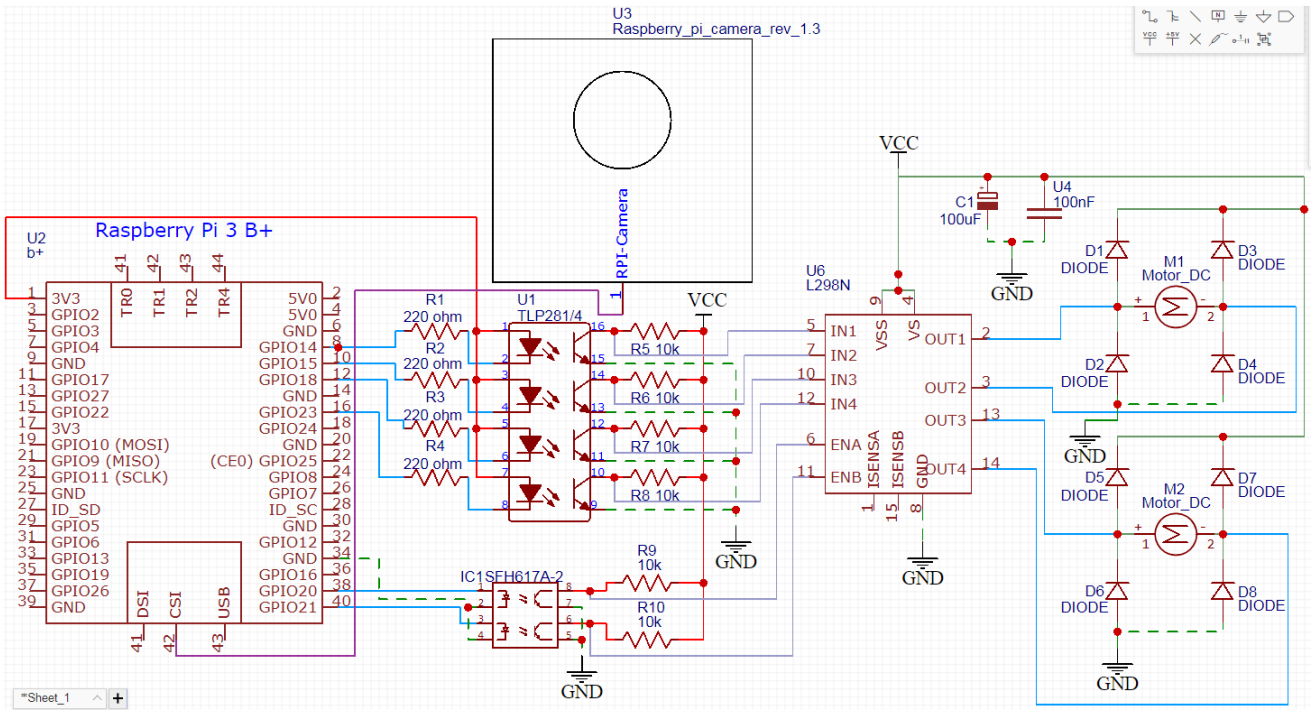
- Hata işleme ve sistem fonksiyonları (GetErrStatus, SetErrStatus, Error, ErrorStrs.)

CXAux kütüphanesi deneysel algoritmaları içerir. İşleme sonucu elde edilen görüntüler üzerinde hareket tanıma, yüz tanıma, şekil eşleştirme vb. deneysel algoritmalar uygulanabilir. Aşağıdaki sınıf ve fonksiyonlar tanımlanmıştır.

- Üç boyutlu yazışma fonksiyonları
- Biçimsel fonksiyonlar (cvPreWarpImage, cvMakeScanlines, cvFindRuns, cvDynamicCorrespondMulti, cvMakeAlphaScanlines, cvDeleteMoire vs.)
- 3D Takip fonksiyonları (cv3dTrackerCalibrateCameras, cv3dTrackerLocateObjects)
- Nesne nitelik fonksiyonları (cvCalcCovarMatrix, cvSVD, cvGEMM cvCalcEigenObjects, cvEigenProjection,)
- Gizli Markov Modelleri (CvImgObsInfo, cvCreate2DHMM, cvRelease2DHMM)

4
Donanım Tasarımı

Şekil 4.1'te tasarlanan devrenin şematik tasarım çizimi görülmektedir. Raspberry Pi'nin GPIO (general purpose input output) portlarından gelecek sinyaller optokuplör devresinin girişlerine uygulanmıştır. Bu devrede kullanılacak optokuplör modeli Toshiba'nın üretmiş olduğu TLP 281-4'tür. TLP 281-4 optokuplörü normal bir fotodiyot optokuplörden farklı olarak fotodiyot yerine fototransistör kullanmaktadır. Fototransistörün avantajı ise yüksek akımlarda çalışabilme yeteneğini entegre devreye kazandırmasıdır. Optokuplörün çıkışı motor sürücü devresinin girişlerine bağlanmıştır ve yüksek akım iletme durumu oluşabilir. Bütün bu olgular doğrultusunda TLP 281-4 seçilmiştir. Şekil 4.2'de devrede kullanılan TLP 281-4 optokuplörünün temel iç yapısı görünmektedir. Ek A ise TLP 281-4'ün elektrik karakteristiğini içermektedir.



Şekil 4.1 Tasarlanan Devrenin Şematik Çizimi

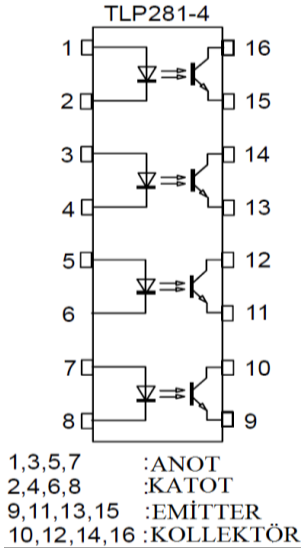
Optokuplör başlığında da anlatıldığı üzere burada hedeflenen ana amaç Raspberry Pi portlarının ve motor kontrol kısmının birbirinden elektriksel olarak izolasyonunu optokuplör aracılığıyla sağlamaktır. Yapılan izolasyon ayrımı sayesinde indüktif bir yük olan motorun rejeneratif üretimi veya kısa devre gibi durumlarında istenmeyen ters akımlara karşı yapı korunmaya alınmaktadır.

Raspberry Pi genel giriş çıkış pinlerinden uygulanan lojik 1 sinyali 3,3 Volt DC mertebesindedir. Optokuplör kılavuzunda verilen işletim değerlerinde giriş pinlerinin nominal geriliminin 1,15 Volt DC ve giriş akımının 10mA olduğu belirtilmektedir. Bu durumda Eşitlik 4.1'de belirtilen ohm kanunu temel alınarak Eşitlik 4.2'ye göre;

$$V = IxR \tag{4.1}$$

$$R_{in} = \frac{Vout - Vin}{Inom} = \frac{3{,}3 - 1{,}15}{10 \text{ x } 10^{-3}} = 215 \text{ ohm} \tag{4.2}$$

olduğu görülmüştür. Uygulama kısmında ise üretilen direnç kataloglarının içinde birebir aynı değeri bulmak imkanlı değildir. Bu sebeple %+- 5 toleranslı yakın direnç değerlerinin kullanılması zorunludur. Mevcut zorunluluk sebebiyle devrede kullanıma uygun en yakın değer olan 220 ohm direnç değeri seçilmiştir.



Şekil 4.2 TLP 281-4 İç Yapısı [43]

Optokuplör girişlerinde bulunan LEDlerden gelecek 1 ya da 0 sinyali optokuplörün çıkış ucundaki transistörlerin iletime geçip geçmeyeceğini belirleyecektir. Çıkış uçlarındaki transistörlerin kolektör uçlarına yukarı çekme (pull up) direnci bağlanmıştır. Transistörde iletim olmadığı andaki lojik seviyenin YÜKSEK (HIGH-1) sinyal olarak kalması, transistör iletime geçtiği anda ise emiter üzerinden akım sağlanarak oluşan gerilimin L298N entegresinin lojik giriş seviyesi geriliminden küçük olması sebebiyle DÜŞÜK (LOW-0) sinyal oluşması amaçlanmıştır.

Normal koşullardaki çalışma prensibinde optokuplör LEDinin katot ucunun topraklanması ve anot ucunun Raspberry Pi den sinyal alacak şekilde yapılandırılması halinde Rapsberry Pi'den gelecek 1 sinyaline karşılık transistör iletime geçerek kolektör ucundan DÜŞÜK (0) sinyal verecektir. Böylelikle verilen sinyalin terslenmesiyle farklı motor dönüş yönleri sağlanmış olacaktır.

Tasarlanan devre yapısında ise optokuplör girişi anotlar kullanılmış ve Raspberry Pi'deki 3.3 Volt çıkışına bağlanmıştır. Katotlar ise aynı gerilim değerinde lojik seviye üreten çıkışlardan YÜKSEK (1) değerini aldığında LEDler yayım yapmayacak ve transistör iletime geçmeyecektir. Böylelikle optokuplör çıkış sinyali olarak yukarı çekme (pull up) üzerindeki lojik seviye yani YÜKSEK (1) sinyali L298N girişlerine iletilecektir. Tersi durumda ise Raspberry Pi'den optokuplör LED'i katotlarına olan bağlantı DÜŞÜK (0) olduğunda aynı mantık neticesinde LEDler aktif olacak ve çıkış transistörü iletime geçerek DÜŞÜK (0) sinyal L298N girişlerine iletilecektir. Yapılan bağlantı şekliyle Raspberry Pi'den optokuplöre gelecek giriş sinyalinin terslenmeden L298N'e iletimi sağlanmış olur.

Raspberry Pi'den motor kontrolü için oluşturulan koddaki yapılandırma uygulanacak sinyalin iletilen sinyal ile aynı olması hem karışıklığı giderecek hem de olası ters yönlendirme ve kod kaynaklı kısa devre hatalarını giderecektir.

Devrede kullanılan TLP 281-4 optokuplör, L298N sürücü devresi ve motorlar 5-Volt DC ile çalışma özelliğine sahiptir.

Eldeki verilerin ışığında ihtiyaç olunan yukarı çekme direncinin maksimum değeri Eşitlik 4.1'de tanımlanan ohm kanunu temel alınarak Eşitlik 4.3 ile hesaplanabilir:

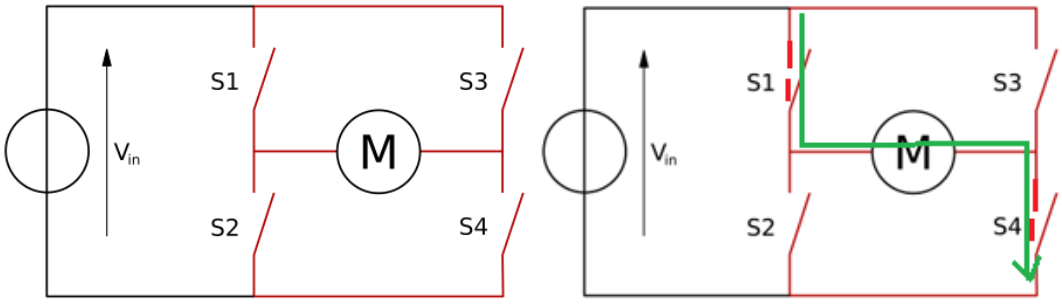
$$R_{pmax}=\frac{Vpullup}{Iih}=\frac{5\ V}{100\ x\ 10^{-6}}=50\ kohm \qquad (4.3)$$

Devre yapılandırılmasında yukarı çekme (pull up) direncinin değeri 10 kohm seçilmiştir. L298N kendi dahili yapısında kılavuzunda belirtilen maksimum giriş akımı değerinin aşımını engellemiştir. Dahili yapısında bulunan korumaların ve engellemelerin sınırlarına göre sinyal giriş akımı girişe verilecek değerden bağımsız olarak maksimum 100uA mertebesinde tutulmaktadır. Seçilmiş olan 10 kohm direnç karşılığında Vcc=5 Volt DC olması halinde 500 uA akım giriş yolunda oluşacaktır. Bilinçli olarak L298N sınırlandırmasına dayanarak yükseltilen bu akım seviyesi devrenin dış etkilerden oluşacak gürültü ve EMI/EMC bozunumuna karşı dayanıklılık oluşturacaktır.

Devrede belirtilen motorlar kömürlü DC motorlardır. Kömürlü ve kutup algılayıcısı bulunmayan bu fırçalı motorları sürmek ve dönüş yönünü belirlemek adına bir takım kutuplama devreleri kullanılmalıdır. Aşağıda örneği verilen H köprüsü sürücü devresi bilinen ve en sorunsuz fırçalı DC motor sürme yöntemidir.

H köprüleri entegre devreler halinde mevcuttur veya ayrı bileşenlerden yapılabilir.

H köprüsü terimi, böyle bir devrenin tipik grafiksel temsilinden türemiştir. Bir H köprüsü dört anahtar ile inşa edilmiştir (katı hal veya mekanik). Anahtarlar S1 ve S4 (ilk şekle göre) kapatıldığında (ve S2 ve S3 açıksa), motora pozitif Voltaj uygulanır. S1 ve S4 anahtarlarını açıp S2 ve S3 anahtarlarını kapatırken, bu Voltaj motorun ters çalışmasına izin vererek ters çevrilir.



Şekil 4.3 H Köprüsü ile Bir Yönde Motor Sürme Örneği

H köprüsünün yapısı itibariyle, S1 ve S2 anahtarları giriş Voltaj kaynağında kısa devreye neden olacağından, asla aynı anda kapatılmamalıdır. Aynısı S3 ve S4 anahtarları için de geçerlidir. Bu durumda kısa devre olacaktır. Şekil 4.3 ile H köprüsünün temsili çalışma mantığı gösterilmiştir.

Küçük motorlar kullanan yapılarda zayıf akım kullanılması ve düşük DC gerilimlerle çalışılması sebebiyle anahtar veya rölelerin yerini diyotların veya transistörlerin aldığı yapılar kullanılmaktadır.

L298N başlığında anlatıldığı üzere L298N kendi içinde transistörler ve AND kapıları barındırmaktadır. ENA ve ENB uçlarından gelecek 1 sinyali motor kontrolleri için IN1, IN2, IN3 ve IN4 pinlerinden yapılacak 1 veya 0 girişlerine göre motora dönme yönünü verecek H köprüsü olarak çalışacaktır. ENA veya ENB pinlerinin giriş sinyali 0 olduğunda motor kontrol girişlerine girecek sinyallerin işlem yapamayacağı yani motora herhangi bir kontrol iletimi olmayacağı anlaşılmaktadır.

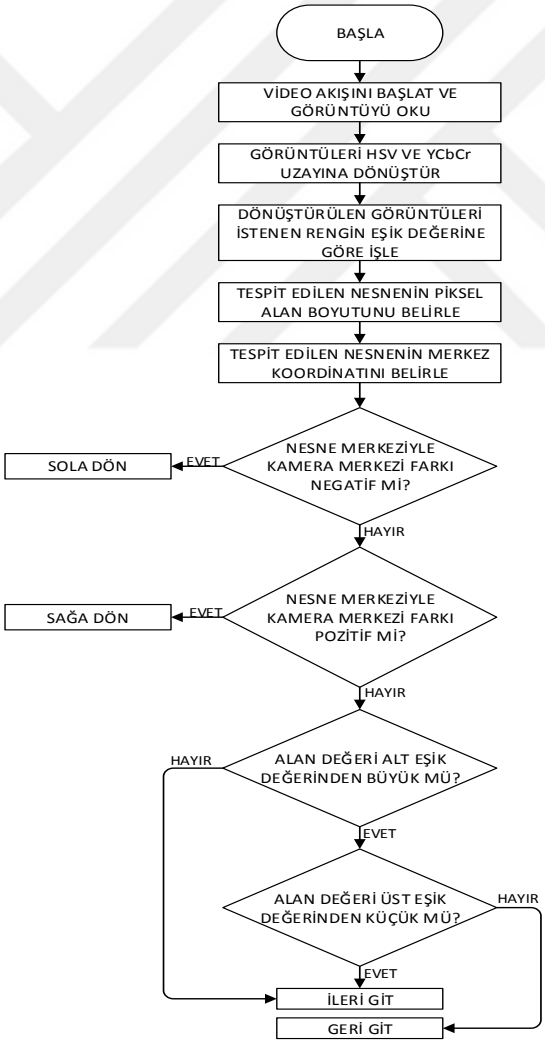
Yine L298N başlığında transistörlü H köprü yapısından iki adet içerdiği böylelikle iki adet motoru aynı anda sürebileceği anlatılmıştır. Motorlara uygulayacağı dönüş yönü sinyalinin içerdiği H köprülere istinaden nasıl uygulanacağı Tablo 3.1'de verilen mantık tablosunda gösterilmiştir.

Kullanılan motorların uçlarında diyotlarla oluşturulan H köprüsü yapıları ise kontrol amaçlı L298N'in içerdiği H köprülerinden farklı bir kullanım amacı ve mantığına sahiptir. Motorların uçlarına konumlandırılmış diyot H köprüsü motorun frenleme ve yavaşlama anında oluşturacağı rejeneratif enerjinin tekrar L298N devre çıkış uçlarına geri basılmasını engellemek amacını taşımaktadır. Rejeneratif enerji üretildiği anda diyotlar iletime geçecek ve paralel olarak Vcc hattına üretilen enerji iletilecektir. Böylelikle bütün hat rejeneratif enerji yükünden ve gelebilecek hasarlardan korunmuş olacaktır.

Tasaralanan bu devre tez çalışmasının hareket kabiliyetini sağlayan donanımı oluşturmaktadır. Devrenin kontrolüyle hareket eden motorlar robotun prosese uygun hareketini sağlayacaktır.

5
Yazılım Tasarımı

Şekil 5.1 ile tez konusu çalışma için Python dilinde yazılan OpenCV kodunun akış algoritması görülmektedir. OpenCV ve Raspberry Pi portlarının kontrol kütüphaneleri ayrı kütüphaneler olmakla beraber Python içinde aynı koda ikisinin da dahil edilebilmesiyle hem görüntü işleme hem de görüntü işleme çıktılarıyla irtibatta olacak port işlemleri için tek kayıt kullanılması mümkün kılınmaktadır.



Şekil 5.1 Yazılan Kodun Algortmik Akış Şeması

GPIO portlarının hangilerinin motor gibi dış bileşenlere ait olduğunu belirlemek için kontrol için kullanılacak pin numaraları kullanılan dil kurallarına uygun bir şekilde kod içinde kullanışlı olması amacıyla akıştaki başlat adımından sonraki ikinci adımda yazılımsal olarak etiketlenmiş ve tanımlanmıştır.

Etiketlenen pinler akışın üçüncü adımında ise irtibatta olduğu bileşen ve yapılmak istenen işlemin özelliğine göre daimi giriş veya daimi çıkış olarak ayarlanır. Ayarlanan pinler giriş veya çıkış görevlerine göre sürekli sinyal iletirler veya sürekli sinyal alırlar.

Pinlerin sürekli giriş veya çıkış olma durumu ayarlandıktan sonra, pinlerden okunacak veya iletilecek veriler yazılan kodda verilmek istenen duruma göre YÜKSEK (1) veya DÜŞÜK (0) olarak dinamik bir şekilde değişecektir.

Akış şemasının başlangıç adımından sonraki dördüncü adımında ise motorların robotta ilerleme, geri gitme, sağa dönüş, sola dönüş, hareketlerini sağlayabilmesi için her bir motorun eş zamanlı olarak dönmesi gereken yönlerin tayini fonksiyonlar şeklinde tanımlanmıştır.

Akış şemasının beşini ve altıncı adımında alınan görüntü Raspberry Pi kameradan direkt olarak okunan gerçek zamanlı videodur. OpenCV'nin marifetiyle okunan görüntünün saniyedeki kare sayısı 16 olarak sınırlandırılmıştır. Raspberry Pi'nin CSI portundan Raspberry Pi kamera aracılığıyla saniyede iletebildiği ham görüntü kare sayısı 15'tir. Raspberry Pi'ye görüntü işleme gecikmesini telafi edebilmesi adına saniyede OpenCV'de 16 kare sınırlandırılması yapılmıştır.

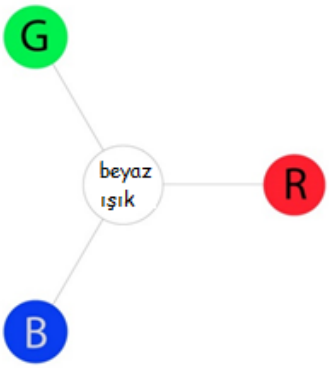
Yüksek çözünürlükle yapılacak morfolojik işlemler matris konvolüsyon işlemi sayısını artıracaktır. Artırıma giden her işlem, Raspberryi Pi'den daha yüksek performans isteyecektir. İstenen daha yüksek performans neticesinde donanımda bulunan işlemci gereğinden fazla yorularak kimi işlemlere yetişemeyecektir. Bu durum aşırı ısınmaya, donanımın zarar görmesine ve aşırı enerji tüketimine sebep olacaktır. Bütün bu olumsuzlukları aşabilmek adına akışın yedinci adımında çözünürlük 160x120 olarak belirlenmiştir. Belirlenen çözünürlük görüntüde istenen rengin tespit edilmesi ve kapladığı alanın sınır noktalarının belirlenmesi ve alan boyutunun hesap edilmesi için yeterli olacaktır. Yapılan çözünürlük

ayarlamasıyla hem donanım rahatlatılmış hem de yapılacak işlemler için engel oluşturulmamıştır.

Çoğu görüntü işleme algoritmasında renkli görüntüler geri seviye görüntülere ardından ikili görüntülere dönüştürülerek morfolojik işlemler uygulanır. Burada ise gri seviye görüntülerin işlenmesinden farklı olarak HSV ve YCrCb renk uzayları üzerinden takip edilecek cismin renginin görüntüde tespitiyle cismin sınırlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İstenen rengin belirlenmesi işlemi akışın sekizinci adımında verilen döngüyle yapılmaktadır. Sekizinci adımda yapılan işlemlerin matematik boyutunun anlaşılması adına RGB uzayından HSV ve YCrCb renk uzaylarına dönüşümün temel bilgileri devam eden kısımda verilmiştir.

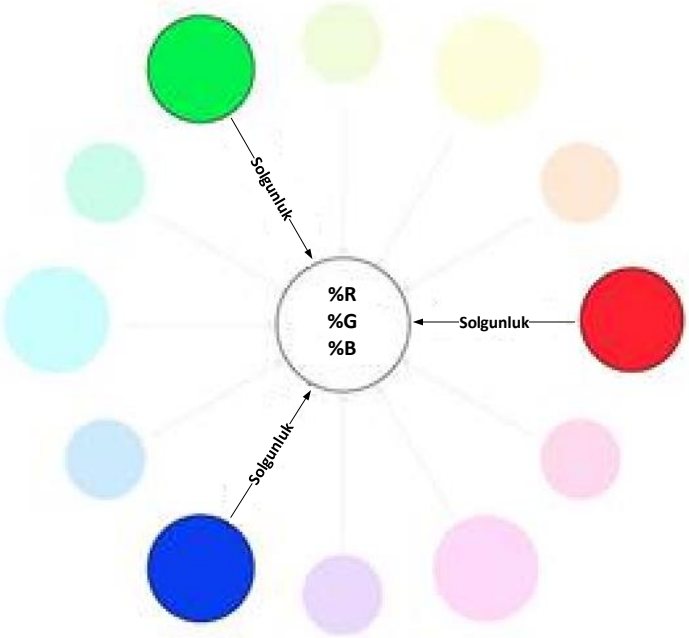
HSV (ton, doygunluk, değer), 1970'lerde bilgisayar grafik araştırmacıları tarafından insan vizyonunun renk yapma özelliklerini algılayış biçimine daha yakından uyum sağlamak için tasarladığı RGB renk modelinin alternatif sunumlarıdır. Bu modellerde, her bir tonun renkleri, altta siyahtan üstte beyaza kadar değişen nötr renklerin merkezi ekseni etrafında radyal bir dilimle düzenlenmiştir. HSV temsili, farklı renkteki boyaların karışım şeklini, parlak renkli boyaların çeşitli tonlarına benzeyen doygunluk boyutuyla ve bu boyaların farklı miktarlarda siyah veya beyaz boya ile karışımına benzeyen değer boyutunu modellemektedir [52].

Ton (Hue): Işıktaki üç ana renk kırmızı, yeşil ve mavidir. Bu nedenle, televizyonların, bilgisayar monitörlerinin ve diğer tüm seri elektronik renkli görsel göstergelerde elektronik olarak iletilen tüm renklerini elde etmek için üçlü kırmızı, yeşil ve mavi fosfor kullanılmasının nedeni budur [53]. Şekil 5.2'de R (red-kırmızı), G (green-yeşil) ve B (blue–mavi) tonlarının beyaz ışık ile ilintisi gösterilmiştir.

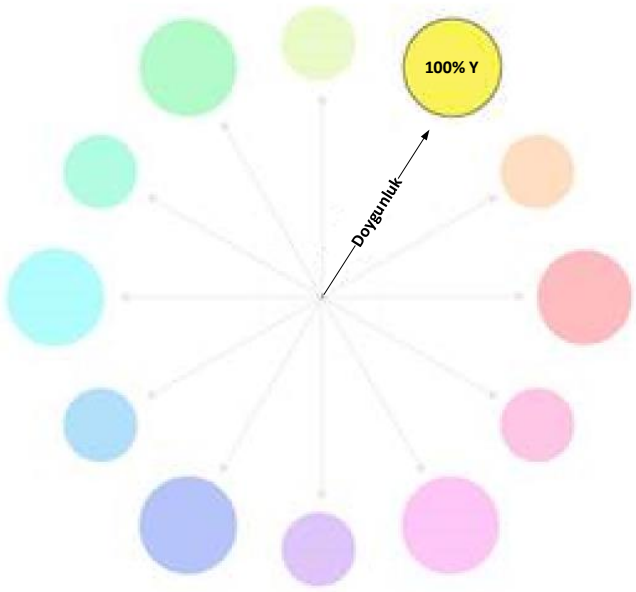


Şekil 5.2 Ton için RGB'nin Karışımı

Doygunluk (Saturation): Doygunluğa "yoğunluk" ve "kroma" da denir. Tonun renkteki baskınlığına işaret eder. Ton tekerleğinin dış kenarında 'saf' tonlar bulunmaktadır. Silindirin ortasına doğru ilerlerken, rengi tanımlamak için kullanılan ton azalmaktadır. Silindirin ortasına ulaşıldığında hiçbir renk temsil edilemez [53]. Bu renkler doğrudan merkez eksende doymamış olarak kabul edilir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ile tonların alacağı doygunluk değerlerinin azalmasıyla veya artmasıyla ton özelliğinin belirginliğinin beyazlık yönünde değiştiği görülmektedir.

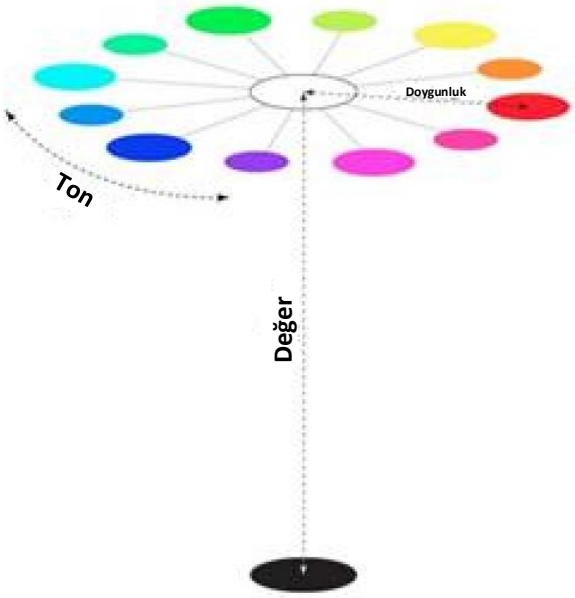


Şekil 5.3 Tonların Solgunluk Yönü

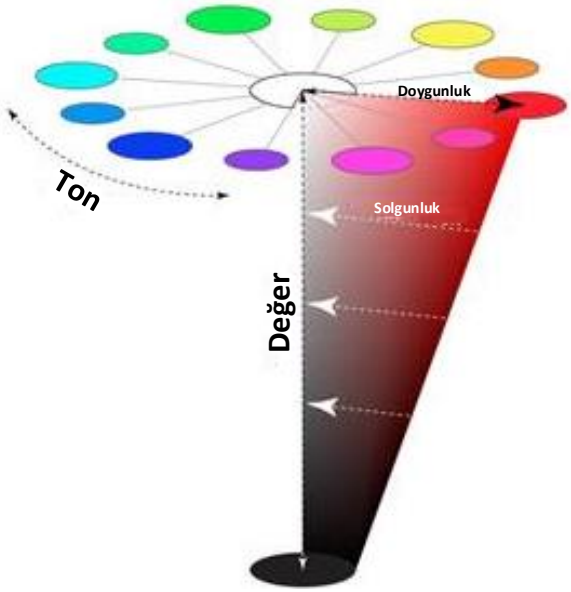


Şekil 5.4 Tonların Doygunluk Yönü

Değer (Value): HSV ölçeğine "değer" eklenmesiyle HSV tanımı tamamlanır. Değer, aydınlığın / karanlığın boyutudur. Rengin spektral bir tanımı olarak değer, ışığın genel yoğunluğunu veya gücünü tanımlar [53]. Renk tonu bir tekerleğin etrafında dönen bir boyut olarak düşünülebilirse, değer, Şekil 5.5'te gösterildiği gibi tekerleğin ortasından geçen doğrusal bir eksendir:



Şekil 5.5 Tonlar için Değer Ekseni



Şekil 5.6 HSV Kavramı

Şekil 5.6 ile tamamıyla bir HSV kavramı gösterilmektedir. Renkli görüntülerin bilinen üç değeri R (Kırmızı-Red), G (Green-Yeşil), B (Blue-Mavi) elementleridir. Bu değerlerin 0 – 255 arasında aldığı büyüklüğe istinaden karışımlarıyla renkler oluşur. RGB uzayından HSV uzayına dönüşüm ise aşağıdaki işlemlerle yapılır [54]:

Değer (Value) için R, G veya B değerlerinden Eşitlik 5.1 ile maksimum olanı seçilir:

$$V = \max(R, G, B) \tag{5.1}$$

Doygunluk (Saturation) değeri için Eşitlik 5.2 kullanılır:

$$S = \frac{V - \min(R,G,B)}{V} \qquad V \neq 0 \tag{5.2}$$

V değeri 0 olursa S değeri de 0 olur.

Ton (Hue) değerinin hesabı için Eşitlik 5.3 kullanılır:

$$H = \begin{cases} G - B * \frac{60}{S}, & V = R \\ 180 + B - R * \frac{60}{S}, & V = G \\ 240 + R - G * \frac{60}{S}, & V = B \end{cases} \tag{5.3}$$

H<0 ise ton değeri Eşitlik 5.4'de görüldüğü gibi

$$H=H+360 \tag{5.4}$$

olarak düzenlenir.

Dijital görüntü işlemede, YCbCr renk uzayı, insan görsel sisteminin renk parlaklığına göre daha düşük çözünürlük kabiliyetinden yararlanmak için sıklıkla kullanılır. Bu nedenle, RGB'den YCbCr'ye dönüştürme, görüntü ve video işlemede yaygın olarak kullanılır.

0 ve 255'in sırasıyla siyah ve beyaz rengi temsil ettiği RGB biçiminde gösterilen bir dijital piksel verildiğinde, YCbCr bileşenleri Eşitlik 5.4, 5.5 ve 5.6 ile elde edilebilir [55]:

$$\mathrm{Y} = 16 + \frac{65{,}738R}{256} + \frac{129{,}057G}{256} + \frac{25{,}064B}{256} \tag{5.4}$$

$$\mathrm{Cb} = 128 - \frac{37{,}945R}{256} - \frac{74{,}494G}{256} + \frac{112{,}439B}{256} \tag{5.5}$$

$$\mathrm{Cr} = 128 + \frac{112{,}439R}{256} - \frac{94{,}154G}{256} - \frac{18{,}285B}{256} \tag{5.6}$$

Görüntüde istenen rengin tespiti için akışın sekizinci adımında istenen rengin görüntüde tespiti için HSV ve YCbCr uzayları birlikte kullanılmaktadır. HSV yüksek çözünürlüklü, YCbCr ise düşük çözünürlüklü görüntülerde avantaj sağlar. Yüksek çözünürlüklü kameradan alınan görüntünün çözünürlüğü düşürülerek işleme tabi tutulmasından dolayı bu iki renk uzayı eşik değeri de korelasyona tabi tutularak uygulanmıştır ve istenen renk tespiti daha çabuk ve kesin duruma getirilmiştir. Genel işlemlerde bu iki renk uzayı eşik değeri maskeleri birlikte değil ayrı ayrı kullanılmıştır. İki renk uzayının maske ve eşik değerleri korelasyon yöntemiyle birleştirilir. Bu birleştirme işleminin çıktısı olan eşik değeriyle görüntü ikili resimlere dönüştürülür ve morfolojik olarak elde edilen maskelerle önce aşındırma sonrasında genişleme işlemi uygulanarak gürültü ve istenmeyen kısımlar giderilir. İstenen rengi içeren bölge ikili görüntüde merkezi işaretlenmek üzere bulunur.

Akışın devamında ise tespit edilen rengin kapladığı alanın uç koordinatları ve kaplanan alanın büyüklüğü hesaplanır. Piksel değerlerinde küçük yanılmalardan kaçınmak adına hesaplanan alanın 3x3'lük bir matristen büyük olması istenir. En az 3x3 büyüklüğünde istenen rengi içeren bir matris için işlemler başlayabilir. İstenen rengin belirlendiği alan 3x3 boyutundan küçük ise robot sağa ve sola döndürülerek cismin tam olarak nerede olduğunu bulmaya çalışır.

Tespit edilen alan 3x3 boyutundan büyük ise alan büyüklüğü hesabı tekrar yapılır. 3x3 boyutundan büyük olan alanlar için alan değeri eşik sınırı olarak alt ve üst değer belirlenir. Tespit edilen alan alt eşik değerinden küçük ise alanın merkezi ve kamera merkezi eşitlenerek alan merkezine doğru robotun dönüşüyle cismin tamamı kadraja alınmaya çalışılır. Tespit edilen alan alt eşik değerinden büyük, üst eşik değerinden küçük ise kamera merkezi ile cismin alan merkezi eşitlenir, robot eşitlenmiş merkez yönüne yönlendirilir ve alan üst eşik değerine eşit olana kadar robot cisme ilerlemeye devam eder. Eğer belirlenen alan üst eşik değerden büyük ise robot cisimden uzaklaşacak şekilde kendi kamera merkezi doğrultusunda geri giderek uzaklaşır. Bu uzaklaşma işlemi cismin alan boyutunun üst eşik değeriyle eşlenmesine kadar devam eder. Böylelikle cisim takibi, yakınlık ve uzaklık ilişkisini de içerecek şekilde sağlanmış olur.

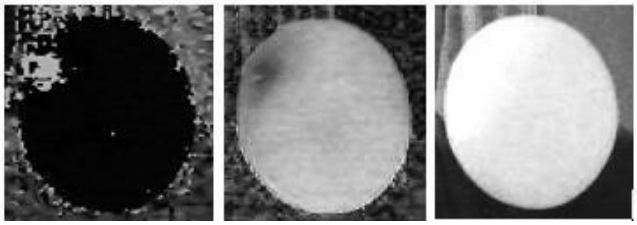
Ek D'de burada verilmiş olan detayları içeren ve Şekil 5.1'den daha kapsamlı bir algoritma akış şeması sunulmuştur.

6
Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında uygulanan HSV ve YCbCr renk uzayı maskeleri kırmızı renk için oluşturulmuştur. Oluşturulan maskelerle tanımlanan eşik değeri kırmızı cismi algılamada başarılı olmuştur. Algılanan cismin renklerinin sınırlarına istinaden cismin şeklinin sınırları belirlenerek çizilmiş ve belirlenen şekle istinaden cisim merkezi tespit edilmiştir.

Yapılan uygulamanın içinde yapılacak tanım değişiklikleriyle istenen herhangi bir renkteki cismin bulunması ve merkezinin belirlenmesi istenebilir. HSV ve YCbCr maskelerinin uygulamada kolaylık sağladığı konu; konvansiyonel gri seviyeden ikili renk uzayına dönüşüm ve akabinde morfolojik işlemlerle geometrik kalıpla bulunan sınırların, tezde uygulanan OR işlemine tabi tutulmuş ikili (HSV ve YCbCr) maskeyle sadece renk bilgisi kullanılarak çıkarılabilmesidir.

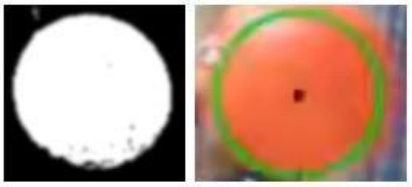
Şekil 6.1 ile oluşturulmuş yeni maske yöntemiyle elde edilen H, S, V bileşenleri görünmektedir. Elde edilen bu üç bileşen sınırların belirlenmesi adına bulunması istenen renge uygun eşik değeriyle Şekil 6.2'de görüldüğü gibi ikili görüntülere dönüştürülmüştür ve Şekil 6.3'te görüldüğü üzere morfolojik temizleme işlemlerinden sonar birleştirilerek sınırlar ortaya tam çıkarılmış ve cisim merkezi belirlenmiştir.



Şekil 6.1 YCbCr Maskesi ile Bitwise OR İşlemine Sokulmuş Sırasıyla H, S, V Bileşenleri



Şekil 6.2 Elde Edilen Bileşenlerin İkili Görüntülere Dönüştürülmesi

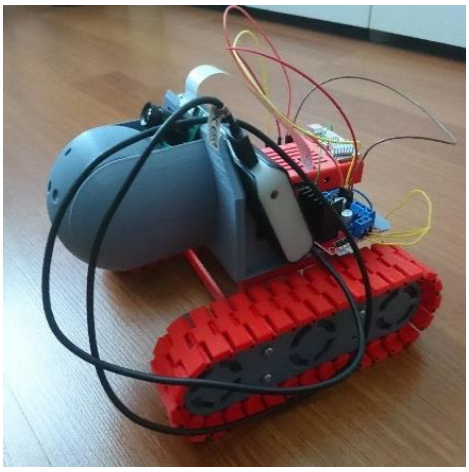


Şekil 6.3 İkili Görüntülerin Birleşimi ve Cismin Merkezinin Belirlenmesi

Raspberry Pi kartı kullanılarak yapılan bu uygulamada diğer geliştirme kartları kullanılan uygulamalara nazaran PC destekli birtakım kablolu kablosuz dış bağlantıların kullanılmadığı ve yüksek işlemci gücüyle daha kuvvetli bir görüntü işleme ve motor sürme kabiliyetlerinin kazandığı görülmektedir.

Yazılan kod içinde verilen alan büyüklüğü eşik değerlerine göre Şekil 5.1'deki algoritmaya uygun olarak motorların cismin hareketine göre dönüş sağladığı aşırı büyük cisim görüntüsü için geriye döndüğü, görüntüdeki küçük cisim için ileri döndüğü ve cismin büyüklüğüne göre değişecek bir mesafede durduğu gözlemlenmiştir. Verilen alan eşik değerleri ise piksel kare olarak 400 ile 6700 değerleri arasındadır. İşlenen çözünürlük 160x120'dir ve 19200 piksele denk gelir.

Robot üstünde yapılacak geliştirmelerde donanım değişikliği gerekmediğinden sadece yazılım değişikliği ile gerekli modifikasyonlar yapılabilir. Oluşturulan robot bu yönüyle esnek bir yapıya kavuşmuştur. Şekil 6.4'te gerçeklenen robot görünmektedir.



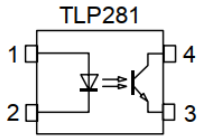
Şekil 6.4 Gerçeklenen Robot

Tezin konusu olan tasarlanmış robot bir sonraki aşama çalışmalarda yapılabilecek geliştirilecek yöntemler için esnek bir prototip olmuştur.

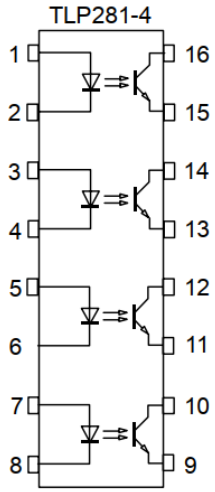
Ek A: TLP281-4 Optokuplör Verileri

Veriler [43] numaralı referanstan elde edilmiştir.

PIN CONFIGURATION(Top view)

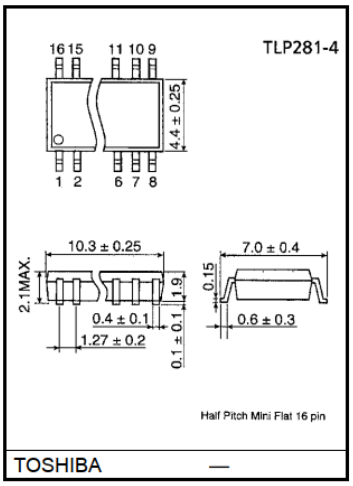


1:ANODE
2:CATHODE
3:EMITTER
4:COLLECTOR



1,3,5,7 :ANODE
2,4,6,8 :CATHODE
9,11,13,15 :EMITTER
10,12,14,16 :COLLECTOR

Unit in mm



Weight: 0.19 g

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING		UNIT
			TLP281	TLP281−4	
LED	Forward Current	I_F	50		mA
	Forward Current Derating	ΔI_F /°C	−0.7 (Ta≥53°C)	−0.5 (Ta≥25°C)	mA /°C
	Pulse Forward Current	I_{FP}	1		A
	Reverse Voltage	V_R	5		V
	Junction Temperature	T_j	125		°C
DETECTOR	Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	80		V
	Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7		V
	Collector Current	I_C	50		mA
	Collector Power Dissipation (1 Circuit)	P_C	150	100	mW
	Collector Power Dissipation Derating(Ta≥25°C) (1 Circuit)	ΔP_C /°C	−1.5	−1.0	mW /°C
	Junction Temperature	T_j	125		°C
Operating Temperature Range		T_{opr}	−55~100		°C
Storage Temperature Range		T_{stg}	−55~125		°C
Lead Soldering Temperature		T_{sol}	260 (10s)		°C
Total Package Power Dissipation (1 Circuit)		P_T	200	170	mW
Total Package Power Dissipation Derating (Ta≥25°C) (1 Circuit)		ΔP_T /°C	−2.0	−1.7	mW /°C
Isolation Voltage (Note1)		BV_S	2500(AC,1min,R.H.≤60%)		Vrms

INDIVIDUAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
LED	Forward Voltage	V_F	I_F = 10 mA	1.0	1.15	1.3	V
	Reverse Current	I_R	V_R = 5 V	—	—	10	μA
	Capacitance	C_T	V = 0, f = 1 MHz	—	30	—	pF
DETECTOR	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)\ CEO}$	I_C = 0.5 mA	80	—	—	V
	Emitter-Collector Breakdown Voltage	$V_{(BR)\ ECO}$	I_E = 0.1 mA	7	—	—	V
	Collector Dark Current (Note2)	I_{CEO}	V_{CE} = 48 V, Ambient Light Below (100 lx)	—	0.01 (2)	0.1 (10)	μA
			V_{CE} = 48 V, Ta = 85°C Ambient Light Below (100 lx)	—	2 (4)	50 (50)	μA
	Capacitance (Collector to Emitter)	C_{CE}	V = 0, f = 1 MHz	—	10	—	pF

COUPLED ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Current Transfer Ratio	I_C / I_F	I_F = 5 mA, V_{CE} = 5 V	50	—	600	%
		Rank GB	100	—	600	
Saturated CTR	I_C / $I_{F\ (sat)}$	IF = 1 mA, VCE = 0.4 V	—	60	—	%
		Rank GB	30	—	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE\ (sat)}$	I_C = 2.4 mA, I_F = 8 mA	—	—	0.4	V
		I_C = 0.2 mA, I_F = 1 mA	—	0.2	—	
		Rank GB	—	—	0.4	
Off-State Collector Current	$I_{C\ (off)}$	V_F = 0.7 V, V_{CE} = 48 V	—	—	10	μA

ISOLATION CHARACTERISTICS (Ta = 25℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Capacitance (Input to Output)	C_S	V_S = 0 V, f = 1 MHz	—	0.8	—	pF
Isolation Resistance	R_S	V_S = 500 V, R.H.≤60%	5×10^{10}	10^{14}	—	Ω
Isolation Voltage	BV_S	AC , 1 minute	2500	—	—	Vrms
		AC , 1 second,in OIL	—	5000	—	
		DC , 1 minute, in OIL	—	5000	—	Vdc

Ek B: L298N Motor Sürücü Entegre Devresi Verileri

Veriler [44] numaralı referanstan elde edilmiştir.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I,V_{en}	Input and Enable Voltage	–0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel) – Non Repetitive (t = 100µs) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) –DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V_S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V_{IH} +2.5		46	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I_S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V_{en} = H; I_L = 0 V_i = L V_i = H		13 50	22 70	mA mA
		V_{en} = L V_i = X			4	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	V_{en} = H; I_L = 0 V_i = L V_i = H		24 7	36 12	mA mA
		V_{en} = L V_i = X			6	mA
V_{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		–0.3		1.5	V
V_{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		VSS	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V_i = L			–10	µA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	Vi = H ≤ V_{SS} –0.6V		30	100	µA
V_{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		–0.3		1.5	V
V_{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V_{SS}	V
I_{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = L			–10	µA
I_{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = H ≤ V_{SS} –0.6V		30	100	µA
$V_{CEsat\,(H)}$	Source Saturation Voltage	I_L = 1A I_L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
$V_{CEsat\,(L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		–1 (1)		2	V

T_1 (V_i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (2); (4)		1.5		µs
T_2 (V_i)	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		0.2		µs
T_3 (V_i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.1 I_L (2); (4)		2		µs
T_4 (V_i)	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.7		µs
T_5 (V_i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		0.7		µs
T_6 (V_i)	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_7 (V_i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		1.6		µs
T_8 (V_i)	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.2		µs
fc (V_i)	Commutation Frequency	I_L = 2A		25	40	KHz
T_1 (V_{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (2); (4)		3		µs
T_2 (V_{en})	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		1		µs
T_3 (V_{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.1 I_L (2); (4)		0.3		µs
T_4 (V_{en})	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.4		µs
T_5 (V_{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		2.2		µs
T_6 (V_{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.35		µs
T_7 (V_{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_8 (V_{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.1		µs

Ek C: Raspberry Kamera V1 Verileri

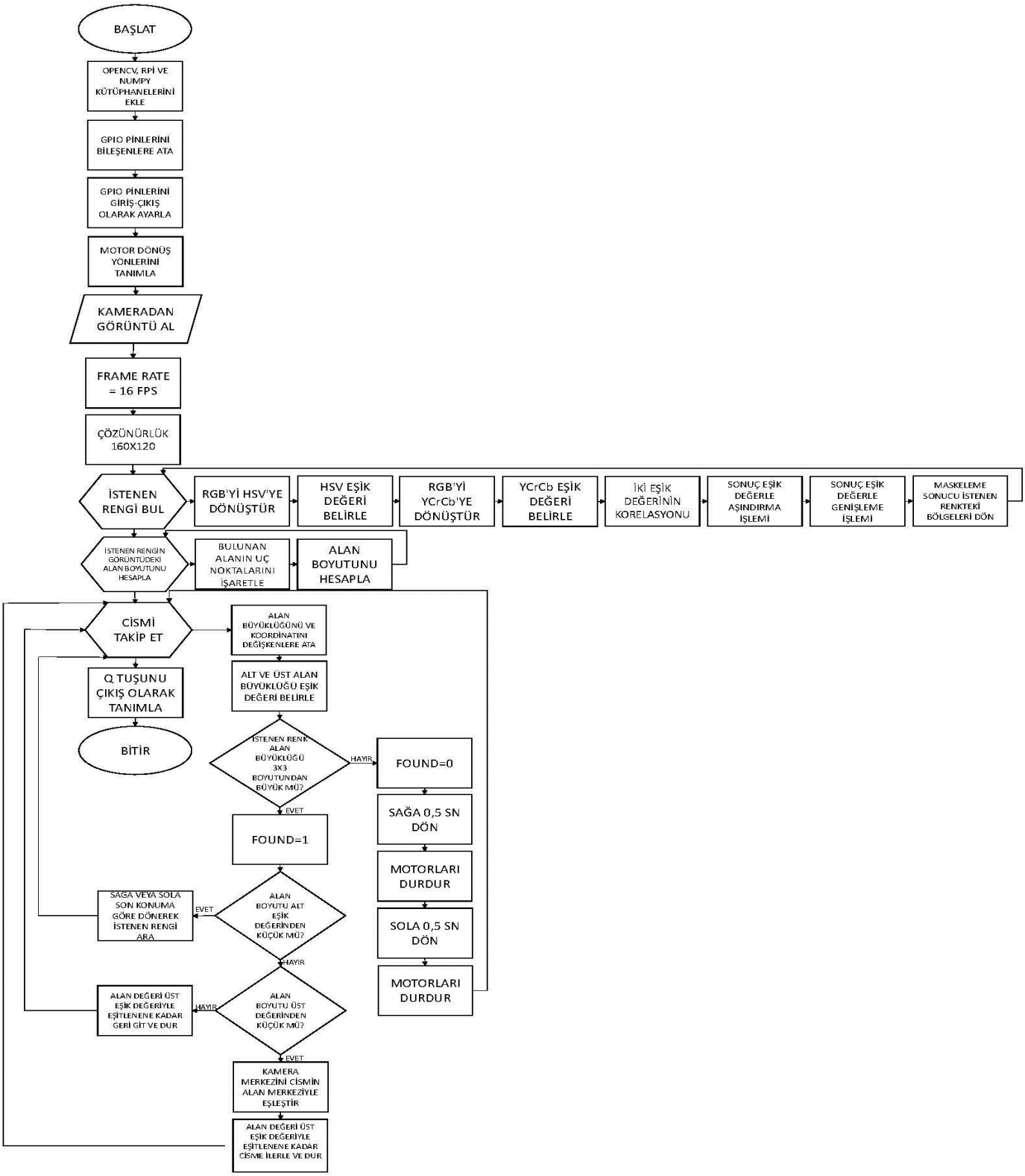
Veriler [42] numaralı referanstan elde edilmiştir.

- **active array size:** 2592 x 1944
- **power supply:**
  core: 1.5V ± 5% (with embedded 1.5V regulator)
  analog: 2.6 ~ 3.0V (2.8V typical)
  I/O: 1.7V ~ 3.0V
- **power requirements:**
  active: TBD
  standby: TBD
- **temperature range:**
  operating: -30°C to 70°C (see **table 8-2**)
  stable image: 0°C to 50°C (see **table 8-2**)
- **output formats:** 8-/10-bit RGB RAW output
- **lens size:** 1/4"
- **lens chief ray angle:** 24° (see **figure 10-2**)
- **input clock frequency:** 6~27 MHz
- **S/N ratio:** TBD
- **dynamic range:** TBD
- **maximum image transfer rate:**
  QSXGA (2592 x 1944): 15 fps
  1080p: 30 fps
  960p: 45 fps
  720p: 60 fps
  VGA (640 x 480): 90 fps
  QVGA (320 x 240): 120 fps
- **sensitivity:** TBD
- **shutter:** rolling shutter / global shutter
- **maximum exposure interval:** 1968 x t_{ROW}
- **pixel size:** 1.4 µm x 1.4 µm
- **well capacity:** TBD
- **dark current:** TBD
- **fixed pattern noise (FPN):** TBD
- **image area:** 3673.6 µm x 2738.4 µm
- **die dimensions:** 5520 µm x 4700 µm

Özellikler	**Kamera Modülü v1**
Boyut	25 × 24 × 9 mm
Ağırlık	3g
Çözünürlük	5 Megapiksel
Video Modları	1080p30, 720p60 and 640 × 480p60/90
Linux Sistemler İçin Sürücü	V4L2 sürücü mevcut
C programlama API'si	OpenMAX IL

Özellikler	**Kamera Modülü v1**
Sensör	OmniVision OV5647
Sensör Çözünürlüğü	2592 × 1944 piksel
Sensor image area	3.76 × 2.74 mm
Piksel Boyutu	1.4 µm × 1.4 µm
Optik Mercek	1/4"
S/N oranı	36 dB
Dinamik Aralık	67 dB @ 8x kazanç
Hassasiyet	680 mV/lux-sec
Sabitlenmiş Odak	1 m'den sonsuza
Fokal Uzunluk	3.60 mm +/- 0.01
Yatay görüş alanı	53.50 +/- 0.13 derece
Dikey görüş alanı	41.41 +/- 0.11 derece
Fokal Oran (F-Stop)	2.9

Ek D: Detaylı Yazılım Algoritma Akışı



Kaynakça

[1] F. Rodriguez, F. Cuesta, "Low-Cost Educational Mobile Robot Based on Android and Arduino", *2016 J Intell Robot Syst,* 81:63–76.

[2] I. Benaoumeur, B. Laredj, H. Reda, A. Zoubir, "Backstepping Approach for Autonomous Mobile Robot Trajectory Tracking", *2016 Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science Vol. 2, No. 3*, pp. 478 ~ 485.

[3] J. Akec, S. J. Steiner, and F. Stenger, "An experimental visual feedback control system for tracking applications using a robotic manipulator", *1998 Industrial Electronics Society (IECON), Proceedings of the IEEE 24th Annual Conference*, Aachen, Germany, 2, pp. 1125-1130.

[4] M. Kert, "Gerçek görüntüden elde edilen koordinatlarla robot kol hareket optimizasyonu", *2006 Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya, Türkiye.

[5] S. Çiçek, "Renge göre (kırmızı, yeşil, mavi) malzeme taşıyan robot kolu tasarımı ve uygulaması", *2006 Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.

[6] Anh, L. T. and Song, J. B., "Object tracking and visual servoing using features computed from local feature descriptor", *2010 International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Gyeonggi-do, Korea, pp. 1044-1048.

[7] G. Huang, H. Lin and P. Chen, "Robotic arm grasping and placing using edge visual detection system," *2011 8th Asian Control Conference (ASCC)*, Kaohsiung, 2011, pp. 960-964.

[8] H. Ali, T. C. Seng, L. H. Hoi and M. Elshaikh, "Development of vision-based sensor of smart gripper for industrial applications," *2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, Melaka, 2012, pp. 300-304.

[9] Karakoç, Y., Öztürk, S., "Hareket Eden Renkli Nesnelerin Takibinin PID ile Gerçeklemesi", *2012 Otomatik Kontrol Toplantısı*, Niğde.

[10] S. Emarose, M. D. Ranganathan, M. Siranjeevi, M. Sugadev, "Monocular vision based autonomous indoor mobile service robot," *2015 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, Coimbatore pp. 1-5.

[11] M. S. Chelva, Dr. S.V. Halse, Dr.B. K.Ratha, "Object Tracking In Real Time Embedded System Using Image Processing, International Conference on Signal Processing", *2016 Communication, Power and Embedded System*.

[12] Deasung Jeon, Chung-kyeom Kim and Jaehwan Kim, "Dynamic object tracking system," *2015 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, Goyang, 2015, pp. 512-515.

[13] Elert, Glenn, "The Electromagnetic Spectrum, The Physics Hypertextbook", *2010 Hypertextbook.com*.

[14] Than, Ker. "How the Human Eye Works.", *2010 TechMedia Network.*

[15] https://mynasadata.larc.nasa.gov/basic-page/electromagnetic-spectrum-diagram, NASA.

[16] http://www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi

[17] Gonzales, R.C. & Woods, R.E., *2002 Digital Image Processing 3rd edition,* New Jersey: Prentice Hall.

[18] Richard Szeliski, "Algorithms and Applications", *2010 Springer Science & Business Media*, pp. 10–16.

[19] Papert, Seymour, "The Summer Vision Project", *1996 MIT AI Memos (1959 - 2004),* hdl:1721.1/6125.

[20] xx:https://machinelearningmastery.com/applications-of-deep-learning-for-computer-vision/

[21] Young, T., 1802. Bakerian Lecture: On the Theory of Light and Colours. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 92:12-48. doi: 10.1098/rstl. 1802.0004

[22] Sokratis, V.; Kavallieratou, E.; Paredes, Roberto; Sotiropoulos, Kostas, "A Hybrid Binarization Technique for Document Images", *2011 Learning Structure and Schemas from Documents, Springer Berlin*, pp. 165–179,

[23] N. Bassiou and C. Kotropoulos, "Color image histogram equalization by absolute discounting back-off," *2007 Computer Vision and Image Understanding, vol. 107, no. 1-2*, pp.108-122.

[24] http://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d1b/tutorial_histogram_equalization.html

[25] https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/tutorials.html

[26] Megha Goyal, "Morphological Image Processing", *2011 International Journal of Computer Science & Technology*, pp. 161-165.

[27] Amalorpavam. G, Harish N. T, J. Kumari, & Suresha M., "Analysis of Digital Images Using Morphological Operations", *2013 International Journal of Computer Science & Information Technology*, pp. 145-159.

[28] T. Lindeberg, "Edge detection and ridge detection with automatic scale selection", *1998 International Journal of Computer Vision,* pp. 117–154.

[29] LS. Davis, "A survey of edge detection techniques", *1975 Computer Graphics and Image Processing*, vol 4, no. 3, pp 248-260.

[30] Canny, J., "A Computational Approach To Edge Detection", *1986 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* 8(6):679–698.

[31] https://docs.opencv.org/3.1.0/da/d22/tutorial_py_canny.html

[32] "Raspberry Pi 3 is out now! Specs, Benchmarks & More", *2016 The MagPi Magazine*.

[33] "Raspberry Pi 3B+ Specs and Benchmarks ", 2018 *The MagPi Magazine*.

[34] www.raspberrypi.org/magpi/raspberry-pi-3bplus-specs-benchmarks

[35] "ProductCompare LAN7515 LAN9514", *2018 Microchip.*

[36] "Raspberry Pi GPIO Connector;", *2012 Elinux.org.*

[37] P. R. Rao, X. Wang and A. J. P. Theuwissen, "CCD structures implemented in standard 0.18 μm CMOS technology," in *Electronics Letters*, vol. 44, no. 8, pp. 548-549, 10 April 2008.

[38] Canon Europa N.V. and Canon Europe Ltd., "CCD and CMOS sensors - Canon Professional Network". *2018 Canon Professional Network.*

[39] https://global.canon/en/technology/s_labo/light/003/05.html

[40] Bryce E. Bayer, "Color imaging array", *1976 US patent 3971065.*

[41] Wang, Peng; Menon, Rajesh, "Ultra-high-sensitivity color imaging via a transparent diffractive-filter array and computational optics". *2015 Optica*, 2 (11): 933.

[42] "Preliminary Specification 1/4" color CMOS QSXGA (5 mpxl) image sensor with OmniBSI technology", *2009 OmniVision.*

[43] "Photocoupler Gaas Ired & Photo-Transistor TLP281-4", *2002 Toshiba.*

[44] "L298 Dual Full Bridge Driver Datasheet", *2000 STMicroelectronics.*

[45] Herman, Stephen, "Industrial Motor Control", *2010 6th ed. Delmar, Cengage Learning,* Page 251.

[46] W. H. Yeadon, Alan W. Yeadon, "Handbook of small electric motors", *2001 McGraw-Hill Professional,* pp. 4-134.

[47] Laughton M.A., Warne D.F., "Electrical engineer's reference book", 16th ed. *2003 Newnes*, pp. 4-19.

[48] William H. Yeadon, Alan W. Yeadon, "Handbook of small electric motors", *McGraw-Hill Professional,* pp. Page 4-134.

[49] "RaspbianAbout - Raspbian", *www.raspbian.org.*

[50] Adrian Kaehler, Gary Bradski, "Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library" *2016 O'Reilly Media,* pp. 26ff.

[51] Bradski, Gary; Kaehler, Adrian (2008). Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc. p. 6..

[52] Michael W. Schwarz; William B. Cowan; John C. Beatty, "An experimental comparison of RGB, YIQ, LAB, HSV, and opponent color models", *1987 ACM Transactions on Graphics,* 6 (2), pp. 123–158.

[53] John Kender, "Saturation, hue and normalized color", *1976 Carnegie Mellon University, Computer Science Dept,* Pittsburgh, PA.

[54] Sharma, G., “Digital Color Imaging Handbook”, *2003 Boca Raton, FL CRC Press*.

[55] Charles Poynton, “Digital Video and HDTV”, *2003 Chapter 24,* pp. 291–292.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: yebaygeldi@yandex.com.tr

Konferans Bildirileri

1. Y. E. Baygeldi, L. Özyılmaz and O. T. Kaymakci, "OpenCV Based Object Tracking Robot with Raspberry Pi", *The 6th International Conference On Control & Signal Processing March 30-31, 2019/ Hammamet, Tunisia, Proceedings of Engineering & Technology (PET)-Special Issue on Applied Sciences & Technology*, -PET- Vol. 46, ISSN 1737-9334, pp. 130-135