

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EL HAREKETİ TESPİT SENSÖRÜ TASARIMI

KEMAL TALHA KOÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ REVNA ACAR VURAL**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EL HAREKETİ TESPİT SENSÖRÜ TASARIMI

Kemal Talha KOÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 18.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Okan Zafer BATUR
Bilgi Üniversitesi

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisansta derslerime giren, ufkumu açan, beni bir mühendis olarak yetiştiren değerli hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca bu tezin hazırlanması aşamasından sonlandırılmasına kadar maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL'a teşekkür ederim.

Tezim boyunca fikri desteklerini sürekli yanımda hissettiğim değerli arkadaşlarım Mustafa KAYA ve Zeynep ORMAN'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ailem ve dostlarıma da teşekkür ederim.

Eylül, 2019

Kemal Talha KOÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
1.4 Motivasyon	3
1.5 Hedef.....	4
1.6 Özgün Katkı	4
1.7 İçerik.....	4
BÖLÜM 2	
DONANIMSAL KISIM	6
2.1 Sensörler	6
2.1.1 Optik Sensörler	8
2.1.1.1 Görüntü Sensörü	10
Yüklenme İliştirilmiş Araç (CCD).....	10
Tamamlayıcı Metal Oksit Yarıiletken (CMOS).....	11
2.2 İşlemci	12
2.2.1 ARM İşlemci	14
2.3 Raspberry Pi	15
2.4 Dijital Kamera ve Görüntü	16

BÖLÜM 3

GÖRÜNTÜ İŞLEME.....	19
3.1 Tanım ve Tarihçe.....	19
3.2 Dijital Görüntü İşleme.....	22
3.2.1 Renk Uzayları.....	22
3.2.1.1 RGB.....	23
3.2.1.2 HSV.....	23
3.2.1.3 YCrCb.....	24
3.2.2 Dijital Görüntü İşleme Basamakları.....	24
3.2.2.1 Görüntü Alma (Elde Etme).....	25
3.2.2.2 Ön İşleme.....	26
Görüntü İyileştirme.....	27
Görüntü Onarma.....	28
Görüntü Sıkıştırma.....	28
3.2.2.3 Kenar Algılama ve Segmentasyon (Bölümleme).....	29
3.2.2.4 Çıkarım.....	30
3.2.2.5 Yorumlama (Sınıflandırma).....	30
3.2.3 Görüntü İşleme Araçları.....	31
3.2.3.1 İşleme Aletleri.....	31
3.2.3.2 Python Araçları.....	32
3.2.3.3 Dataflow Araçları.....	32
3.2.4 Filtreler.....	33
3.2.5 OpenCV.....	35
3.3 İnsan Makine Haberleşmesinde Görüntü İşleme.....	36
3.3.1 Morfoloji.....	38
3.3.2 Algılama.....	38
3.3.2.1 HaarCascade.....	38
3.3.2.2 Haar Cascade Sınıflandırıcı Eğitimi.....	42
3.3.2.3 El Algılama.....	42
3.3.3 Takip.....	43
3.3.3.1 Lucas Kanade Algoritması.....	43
3.4 Gerçek Zamanlı Görüntü İşleme Uygulamaları.....	44

BÖLÜM 4

YÖNTEM VE UYGULAMA.....	45
-------------------------	----

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGE LİSTESİ

mA	Miliamper
V	Volt
W	Watt
xml	dosya türü

KISALTMA LİSTESİ

2D	İki Boyutlu
3D	Üç Boyutlu
ALU	Aritmetic Logic Unit
ARM	Advanced RISC Machines
BT	Bilgisayarlı tomografi
C	C programlama dili
C++	C++ proramlama dili
C#	C# programlama dili
CCD	Charge Coupled Device
CIS	Copper-Indium-Diselenid
CISC	Complex Instruction Set Computing
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CPU	Central Processing Unit
DNA	Deoxyribonucleic acid
DVD	Digital Video Disc
FPU	Floating-point unit
FSR	Force Sensitive Resistor
GPU	Graphics processing unit
HOG	Histogram of Gradient
IC	Integrated circuit
IR	infrared
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KNN	k-nearest neighbors algorithm
LDR	Light Dependent Resistor
Matlab	Matrix Laboratory
MRG	Magnetic Resonance Imaging
MRI	Magnetic resonance imaging
OpenCV	Open Source Computer Vision
OpenNN	Open Neural Networks
OpenGL	Open Graphics Library
OS	Operating System
PET	Positron Emission Tomography
PC	Personal Computer

PIC	Peripheral Interface Controller
PIL	Python Imaging Library
PIR	Passive Infrared sensor
RAM	Random Access Memory
RGB	Red-Green-Blue
RISC	Reduced Instruction Set Computing
SD	Secure Digital
SoC	System on chip
SVM	Support Vector Machine
UV	Ultraviolet
VCR	Video Cassette Recording
VOC	Visual Object Classes
VXL	Vision X Library
YCrCb	Y luminance (parlaklık) Cb ve Cr chrominance (renk)



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Bir sensörün çalışma prensibi	7
Şekil 3. 1 Raspberry Pi 3.....	16
Şekil 3. 2 Dijital kamera iç tasarımı.....	18
Şekil 3. 3 Görüntü İşleme Akış Şeması.....	25
Şekil 3. 4 Dijital Görüntü İşleme Basamakları.....	26
Şekil 3. 5 İnsan Makine Haberleşmesi görüntü işleme akış şeması.....	37
Şekil 3. 6 Haarcascade sınıflandırıcı özellikleri.....	40
Şekil 3. 7 Sınırlandırıcı özellikleri uygulanması.....	41
Şekil 3. 8 Sınırlandırıcı özellikleri uygulanması.....	41
Şekil 4. 1 Akış Şeması.....	46
Şekil 4. 2 Toplana ten renginin tespit edilmesi.....	47
Şekil 4. 3 Toplana ten renginin tespit edilmesi.....	47
Şekil 4. 4 Sağa Hareket Tespiti.....	52
Şekil 4. 5 Sola Hareket Tespiti.....	53
Şekil 4. 6 Aşağı Hareket Tespiti.....	53
Şekil 4. 7 Yukarı Hareket Tespiti	54

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Piyasadaki sensör ve transdüser çeşitleri, kullanım yerleri.....	8
Çizelge 4. 1 Haarcascade Sınıflandırıcı Sonuçları.....	49
Çizelge 4. 2 Sensor Başarı Sonuçları	54

İNSAN MAKİNE HABERLEŞMESİ İÇİN EL HAREKETİ SENSÖRÜ

Kemal Talha KOÇ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL

Günümüzde teknoloji insan hayatını birçok alanda kolaylaştırırsa da insan-makine etkileşiminin çoğunluğu klavyeler, fareler, joystickler gibi mekanik cihazlarla sağlanmaktadır. Buna alternatif olarak, insanlarla makineler arasındaki iletişimin uzaktan basit komutlarla yapılabilmesi günlük hayatı kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada; insan-makine haberleşmesinde birçok elektronik cihaza uygun, kullanışlı, etkili ve düşük maliyetli bir sensör tasarımı yapılmıştır. Çalışmanın amacı, ağır CPU işlemleri gerektiren algılama ve takip işlemlerini, optimize ederek düşük maliyetli raspberry pi 3 gibi bir donanıma el hareketini sınıflandırarak elektronik cihazların anlayabileceği sonuçlar elde etmektir. Çalışmada, resim ön hazırlık aşamasından geçirilerek fazla ayrıntılardan arındırılmıştır. YCrCb renk uzayı ile ten rengi filtrelenerek elin aranacağı resim küçültülerek algılama ve takip işlemlerinin maliyetleri azaltılmıştır. Basit lineer kontrol ile hareketin sağa, sola hareketi algılayabildiği görülmüştür. Sonuçlar, elin hareketlerinin hızlı ve etkili bir şekilde algılanabildiğini ve başarılı bir çıkış üretilebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: El hareketi sensörü, el tanıma, el takibi, görüntü tanıma

HAND MOVEMENT SENSOR FOR HUMAN MACHINE INTERACTION

Kemal Talha KOÇ

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Revna ACAR VURAL, PhD

Nowadays, most of the human-machine interaction is provided by mechanical devices such as keyboards, mouses, joysticks. Alternatively, the communication between people and machines will be facilitated by simple remote commands.

In this study; a convenient, efficient and low-cost sensor design has been made suitable for many electronic devices for human-machine interaction. The aim of the study is to detect hand movement by low cost hardware like raspberry pi 3 and then to get results that electronic devices can understand by classifying movements. In the study, the image was passed through the preprocessing stage and was purified from the details. With YCrCb color space, the color of the skin is filtered to reduce the cost of detection and tracking. It was observed that movement can detect right, left, up and down movement with simple linear control. The results show that hand movements can be detected quickly and effectively and that a successful output can be generated.

Keywords: Hand tracking sensor, hand detection, hand tracking, image detection

1.1 Literatür Özeti

İnsan makine etkileşimi hakkında uzun yıllardır süregelen çalışmalar bulunmaktadır. Hep daha kolay ve daha az maliyetli çalışmalara doğru yol alınmaktadır. Bazı çalışmalarda parmak ucunun nerede olduğu tespit edilmiş, YCrCb yöntemi ile görüntü küçültülerek genetik algoritma ile parmak ucunun tespiti sağlanmıştır. Parmak ucunun nerde olduğu bilgisi güzel bir şekilde bulunsa da hareket bilgisi bulunmamaktadır [1]. Küçük bir donanım ile inverter klimaların kontrolü sağlanmıştır. Bu çalışmada da hareket tespiti yapay zekâ ile sağlanmaktadır. Bu çalışan donanıma maliyet sağlamakla beraber klima için özelleşmiştir [2]. Bir başka çalışmada el hareketlerinden işaret dili çıkarımı üzerine çalışılmış ancak bu çalışmada derinlik sensörü kullanılmıştır [3]. Daha farklı olarak giyilebilir bir cihaz ve Kinect kamera kullanılarak el takibi sağlanmaya çalışılmıştır. Ancak bu çalışmada Kinect kamera sebebiyle maliyetli olmakla beraber giyilebilir teknolojiyle kullanışsız olmaktadır [4]. Son yıllarda, 2D / 3D görme ile yüz ifadesi, kafa / el / vücut / parmak hareketleri gibi doğal insan etkileşimi için yeni etkileşim paradigmaları geliştirmeye artan bir ilgi vardır [1]. Hareket bilgileri nedeniyle, dinamik el hareketleri insan-robot etkileşimi için zengin bir iletişim kanalı sunar. Literatürde el hareketlerini tanımak için başın ve ellerin 3D konumu, baş ve el bölgelerini tespit etmek ve izlemek için ten rengi kullanılmıştır [5]. Bir manipülatör ile donatılmış mobil bir robot için, kişiyi takip etmek ve el hareketini içeren hareketleri tanımak için bir kamera bir jest ara yüzü geliştirilmiştir [6]. İnsan-insansı bir robot

iletişimi için el hareketleriyle dinamik insan hareketinin gerçek zamanlı görsel olarak tanınmasını öneren bir sistem geliştirilmiştir [7].

Bu araştırma konusunda sensör bazında yapılan bazı çalışmalar şunlardır: APDS-9960 RGB and Gesture Sensor isimli bir algılayıcı, 10 ile 20 cm uzaklığında sağa, sola, yukarı, aşağı, ileri ve geri hareketlerini RGB sensörü kullanılarak algılayabilmektedir [74]. Bu sensör ile etkileşim kurulabilmesi için elin 10-15 cm arası yaklaştırılması gereği bu sensörün kullanımında dezavantaj oluşturulmaktadır. Aynı şekilde zx distance and movement sensor ise 30 cm uzaklığa kadar bu algılamayı sağlayabilmektedir. 30 cm uzaklığı da bir makine ile iletişim kurabilmek için çok yakın bir mesafedir.

Deep learning ile beraber yapay zeka algoritmaları kullanılarak elin her şekilde algılanması sağlanan bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada deep learning algoritmalarından tensor flow kullanılmıştır, ancak bunun yapılabilmesi için minimum gereksinim olarak i7 2.5 GHz 8 çekirdekli işlemci ve 16 GB ram ve üzeri sistem gereksinimleri gerekmektedir [75]. Bu donanımlar ise çok pahalı ve büyük ekipmanlardır.

Bilgisayar klavyelerinin bulunduğu kısma entegre edilebilen leap motion teknolojisinde elin parmaklarına kadar konumu ve hareketleri kontrol edilebilmektedir. Bu teknolojinin algılama mesafesi, 25 mm ile 60 cm arasındadır. Bu teknoloji sadece bilgisayar destekli geliştirilmiş olup fiyatı 1000 TL civarındadır [76].

Google firmasının geliştirmiş olduğu Project soli isimli çalışmada ise çok yakın bir mesafeden parmak hareketleri kontrol edilecektir. Proje, radyo dalgalarına göre çalışmaktadır ve değişimleri analiz ederek parmak hareketlerini anlamlı bilgilere çevirmektedir [77].

Ayrıca Samsung televizyonları için geliştirilen el hareketleri tanıma sistemi mevcuttur ancak bu sistem sadece televizyonlar için geliştirilmiştir. Bu el hareketleri tanıma sisteminde, televizyona entegre kamera sistemi mevcuttur. El hareket ettirilerek mouse gibi kullanılabilir. El hareket ettirilerek mouse gibi kullanılabilir.

Bu çalışmada, Kinect gibi maliyetli bir kamera kullanmadan, çok daha düşük maliyetlere ve optimum yöntemler ile el hareketi tanınmakta ve yukarı aşağı, sağa sola el hareketleri algılayabilen bir sensör [10] tasarlanmaktadır. Maliyet avantajlı CMOS [15]

kamera ile mikroişlemcilerden [25] ARM [28] tabanlı mimari kullanan ortalama bir kapasiteye sahip raspberry pi 3 [31] cihazında, dijital kameradan [33] alınan veri görüntü işleme [34] algoritmaları ile işlenmektedir. YCrCb [47] renk uzayı ile görüntü azaltılarak resim iyileştirilmesi [53] yapılmaktadır. Resim iyileştirilmesi aşamasında filtre [56] ve morfoloji [64] kullanılmaktadır. Haarcascade [69] kullanılarak el tanınmaktadır ve tanınan el obje takibi [71] algoritmalarından Lucas Kanade [72] algoritması ile takip edilerek hareketler sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırılan hareketler raspberry pi cihazının çıkış pinlerine verilerek bağlanılacak herhangi bir elektronik cihazı kontrol sağlanabilmektedir.

Sadece raspberry pi ve webcam kullanılarak istenilen sensör tasarımı gerçekleştirilmiş ve raspberry pi donanımına çok büyük bir yük getirilmemiştir.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada, çeşitli elektronik cihazların kontrolü ve insan makine haberleşmesinin iyileştirilmesi ve insan hayatının konforunun artırılması amaçlanmıştır. Klavye, mouse ya da kumandalar kullanmak yerine hiçbir aracı elektronik cihaz olmadan kontrol imkânı insanın konforunun artmasında önemli rol oynayabilecektir.

1.3 Hipotez

Elektronik aletlerde tuşlama, dokunmatik kullanma, kumanda olmaksızın komut girdisinin yapılamamaktadır. Elektronik aletleri kontrol etmek için mevcut kontroller genel olarak fiziksel temaslar ile sağlanmaktadır. Fiziksel temasların uzaktan kontrol aşamasına geçirilmesi için yine fiziksel olarak giyilen eldiven gibi teknolojiler, ya da Kinect kamera gibi pahalı ve büyük boyutlu kameralar ile çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Ancak böyle bir çalışmanın sanayileşebilmesi için küçük boyutlu ve düşük maliyetli olmalıdır.

1.4 Motivasyon

Hem küçük boyutlu hem de düşük maliyetli bir sensör tasarımı, bütün elektronik cihazların kontrolünü sağlayabilecektir. Elektronik cihazların kontrolünü sağlayan küçük

bir sensör bütün evlerde ihtiyaç olarak kullanılabilir. Geniş kitlelerce kullanılan bir sensör tasarımı teknolojiye katma değer sağlayacaktır.

1.5 Hedef

İnsanlığa faydası olacak her türlü makine için basit hareketlerle kontrol edebilecek bir sensör sistemi tasarlamaktır. Uygun bir sensör tasarımı yapılarak elektronik cihazlarının üretiminde vazgeçilmez bir parça olmak ve geniş bir kitlenin kullanımına sunmak hedeflenmektedir.

1.6 Özgün Katkı

Bu sistemde, literatürdekilerden farklı olarak; 50 cm ile 1.5 m arası algılama yapılabilmektedir. Bu durum da sensöre çok fazla yaklaşılması zorunluluğunu kaldırmakta, kullanıcılara daha rahat bir kullanım imkanı sağlayabilmektedir. Geliştirilen sensörün asıl amacı makineler ile haberleşmedeki konfor seviyesini arttırmak olduğu düşünülürse bu durum bu çalışmayı diğerlerinden farklılaştırmaktadır. Ayrıca, deep learning gibi maliyetli algoritmalar veya kinect, leap motion gibi pahalı cihazlar kullanılarak bu sistemin kurgulanması, yüksek maliyeti sebebiyle el hareketi sensörünün sektörde daha yaygın kullanımını engellemektedir. El hareketleri çok daha az maliyetli bir donanıma yaptırılarak benzeri ürünlere göre ciddi bir fiyat avantajı sağlanmaktadır. Bazı ürünlere entegre şekilde bulunan el hareketi tespit cihazları o ürünler için özelleşmiş, ürünlerin yüksek özellikli donanımlarından faydalanmaktadır. Bu sebeple daha farklı cihazlara entegre edilmesi çok zor olacaktır. Bu bakımdan sadece kendi başına çalışabilen ve herhangi bir cihaza entegre olabilecek bir sensör tasarımı, bu entegre cihazlara göre farklılaşmaktadır.

El hareketi algılanmasının her türlü elektronik cihaza entegrasyonunu olanaklı hale getiren bir sensör sistemi tasarlanmıştır. Literatürdeki büyük ve yüksek maliyetli çözümler yerine küçük, düşük maliyetli bir sensör tasarımı yapılmıştır. Sensör tasarımı sırasında eldiven gibi ele takılan herhangi bir fiziksel şeye ihtiyaç duyulmamıştır.

1.7 İçerik

İnsan makine haberleşme süreci, görüntünün bir web kamera ile alınıp işlemin raspberry pi ile yapılması ve pinlere sonuç üretmesi ile karakterize edilir. İnsan makine etkileşimine yönelik kullanılan ekipmanlar ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra projenin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan görüntü işleme üzerinde durulmaktadır.

Projenin uygulanma aşamasında raspberry pi işletim sisteminde web kamera ile alınan resimlerin kullanılan görüntü işleme algoritmaları ile işlenmesi aktarılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, hedefler baz alınarak incelenerek projede kullanılan tool kullanımları ile alakalı kıyaslamalı olarak tartışma yapılmıştır.



DONANIMSAL KISIM

Sensör yardımıyla makine haberleşmesi teknolojisi için sensör ve işlemci iki temel bileşen olarak yer almaktadır. Sensör olarak kamera, kumanda, otomatik kızılötesi algılayıcı, nem algılayıcı, termostat, ultrasonik algılayıcı, basınç sensörü, fotosel algılayıcı, parmak izi algılayıcı, ağırlık algılayıcı gibi çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Sensörlerden gelen veriyi işlemek için PIC, STM, ARM gibi çeşitli mikro işlemciler kullanılmaktadır.

2.1 Sensörler

Sensör kelimesinin ilk kullanımları 1925-30 yıllara dayanmaktadır. İngilizce "to sense" yani "duymak, hissetmek" fiilinden; fiili yapabilen, fiilin yetisine sahip anlamına getiren "-or" son ekiyle sensor kelimesi elde edilmiştir [8].

Sensörler, dışarıdan gelen ısı, ses, basınç, kuvvet, ışık, nem, elektrik, uzaklık, ivme ve pH gibi fiziksel ya da kimyasal çeşitli büyüklükleri algılayan ve elektronik ortamda işlenebilir sinyallere dönüştüren temel bileşen olarak görev almaktadırlar. Fotoğraf makinaları ve kameralarda ışığa duyarlı diyotlardan oluşan sensör, ışığı emerek ışık fotonlarını elektrik sinyallerine dönüştürmektedir. Görüntü işlemcisine aktarılan analog elektrik sinyalleri burada işlenmekte ve görüntü olarak elektronik ortama kaydedilmektedir [9].



Şekil 2. 1 Bir sensörün çalışma prensibi [10]

Bir enerji biçimini başka enerji biçimlerine dönüştüren cihazlara genel olarak transdüser denilmektedir. Transdüserler; elektriksel, manyetik, elektromanyetik, kimyasal, termal enerji biçimlerinin birbirine dönüşümlerini gerçekleştirmektedir. Bir enerji biçimindeki parametreyi algılar ve onu başka bir enerji biçimine, çoğunlukla elektrik sinyaline dönüştürmeleri ile karakterize edilir. Sensörler ve mikrosensörler transdüserler altında kategorize edilmektedir. Mikrosensörler, boyutsal spektrumun alt ucunda bir mikronun çok altından birkaç milimetreye kadar değişebilen kritik fiziksel boyutlara sahip olabilmektedir. Günümüzde sensör teknolojisindeki genel eğilimler şunlardır:

- Minyatürleştirme,
- Entegrasyon: sensör çıkışını doğrusallaştırmak için sinyal işleme, devreli sensör vb.,
- Otomatik kalibrasyon için yerleşik aktüatörlü sensör, hassasiyet değişikliği vb.,
- Sensör dizileri: tek işlevli üniteler (güvenilirliği artırmak için), çok fonksiyonlu birimler.
- Mikrosensörlerin avantajları düşük üretim maliyeti, entegre devre teknolojisinde geniş kullanım alanına sahip olması (entegrasyonu), sensör dizilerine daha fazla uygulanabilirlik, düşük ağırlık (daha rahat taşınabilirlik).

Son yıllarda mikrosensörlerdeki gelişmeler; bilgi işlem, fizik, kimya alanında sonuçları iyileştirmek için yeni bir cihaz geliştirmeye izin veren yeni ve yenilikçi yöntemler tasarlamaya olanak tanımaktadır [11].

Mikrosensör ve sensör çeşitleri alanlarına göre genelden özele olacak şekilde sıralanabilmektedir (Çizelge 2. 1) [10]:

- 1)Mekanik sensörler
- 2)Nem sensörü
- 3)Kimyasal sensörler
- 4)Akım ve voltaj ölçüm sensörleri
- 5)Kablosuz sensörler
- 6)Manyetik sensörler
- 7)Basınç sensörü
- 8)Dokunma sensörleri (Touch Sensor)
- 9)Hız Sensörü
- 10)Eğim ölçer sensör
- 11)İvme ölçer sensör
- 12)Optik sensörler
- 13)Ses seviye sensörleri
- 14)Sıcaklık sensörü
- 15)Kuvvet sensörleri (FSR)

2.1.1 Optik Sensörler

Optik sensörler şu başlıklar altında değerlendirilebilir [10]:

- Foto direnç (LDR) – Led diyot
- Infrared (Kızılötesi) Led – Foto diyot
- Işık pili (Güneş Pili)
 - Monokristalin güneş pili
 - Polikristalin güneş pili

○Amorf silikon güneş pili

○CIS güneş pili

•Optokuplör

Çizelge 2. 1 Piyasadaki sensör ve transdüser çeşitleri, kullanım yerleri [12]

Ölçülen Miktar	Giriş Cihazı (Sensör)	Çıkış Cihazı
Işık Seviyesi	Işığa duyarlı direnç (LDR) Fotodiyot Fototransistör Güneş Pili	Işıklar ve Lambalar LED'ler Fiber optikler
Sıcaklık	Termokupl Temistör Termostat Dirençli Sıcaklık Dedektörleri	Isıtıcı Fanı
Kuvvet/basınç	Gerinim ölçer Basınç şalteri Yük hücreleri	Asansörler ve krikolar Elektromıknatis titreşimi
Pozisyon	Potansiyometre Enkoderler Yansıtıcı/oluklu optik anahtar Doppler etkisi sensörleri	Motor Sarmal Bobin Panel metre
Hız	Tako-jeneratör Yansıtıcı/olulu optik bağlaştırıcı Doppler etkisi sensörü	Ac ve dc motorlar Kademe motoru Fren
Ses	Karbon mikrofon Piezoelektrik kristal	Zil Sesli İkaz Cihazı Hoparlör

- Fototransistörler
- Görüntü Sensörü
 - Tamamlayıcı metal oksit yarıiletken (CMOS)
 - Yüklenme iliştirilmiş araç (CCD)
- Algılayıcı (PIR) sensörler
- Yansımali sensörler
- Konum sensörleri
 - Potansiyometre
 - Encoder
 - Resolver
- Mesafe algılama sensörleri

2.1.1.1 Görüntü Sensörü

Bir görüntü sensörü, dijital fotoğraf veya video kamera gibi dijital bir görüntüleme sistemindeki ana yapı taşlarından kabul edilmektedir. Bu elektronik devreler cisimlerden yansıyan ışığı elektrik sinyallerine dönüştürmektedir. Sensöre gelen her ışık huzmesi sensörün çeşitli ölçülerde voltaj üretmesine neden olmaktadır. Işığın rengi siyah olduğunda voltajın gücü sıfır, beyaz olduğundaysa bir olarak değerlendirilmektedir. Sıfır ile bir arasındaki voltaj gri renk tonlarını temsil etmektedir. Görüntü sensörlerinin temel çalışma prensibi, dijitalleştirilen ışık verisiyle kamerada yer alan işlemci için girdi sağlamaktır. İşlemciler tarafından bu voltaj girdisi işlenerek monitör gibi bir gösterici ile görüntülerin belirmesini sağlanmaktadır. Sensörün ürettiği her bir voltaj bir piksele karşılık gelmektedir. Piksel sayısının fazla olması kamera görüntüsünün netliğini artırmaktadır [10].

Yüklenme İliştirilmiş Araç (CCD)

Yüklenme iliştirilmiş araç (CCD) sensörleri 1969 yılında Willard Boyle ve George Smith tarafından Bell laboratuvarlarında geliştirilmiştir. İcat olmasının üzerinden kırk yıl

geçtikten sonrasında 2009'da Boyle ve Smith tarafından, "bir görüntüleme yarı iletken devresi-CCD sensörü" için Nobel Fizik Ödülü'nün yarısı paylaşılmıştır [13]. Kullanılan ilk başarılı görüntüleme teknolojisi olan CCD teknolojisi, Albert Einstein'ın teorileştirdiği ve 1921 yılındaki Nobel Ödülü'nü aldığı fotoelektrik etkiden yararlanılarak geliştirilmiştir. Görüntü sensörü tasarlanırken CCD teknolojisinde ışık elektrik sinyallerine dönüşmektedir. Bir görüntü sensörü tasarlanırken zorluk, kısa sürede çok sayıda görüntü noktasında, piksellerde sinyalleri toplanması ve okumasıydı. CCD sensörleri, sensörü çevreleyen devreleri kullanarak sırayla piksel ölçümlerini dönüştürmektedir. CCD'ler tüm pikseller için tek bir amplifikatör kullanmaktadır. CCD'ler dökümhanelerde özel ekipmanlar ile üretilmektedir. Bu karmaşıklık, genellikle daha yüksek maliyetleriyle yansıtılmaktadır. CCD sensörler genellikle görüntü kalitesinin önemli olduğu güvenlik kamera sistemlerinde kullanılmaktadır.

Bir CCD sensörünün avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- i. Özellikle düşük ışık koşullarında daha az gürültü ve tipik olarak daha kaliteli görüntüler elde etmeye olanak tanınması,
- ii. Sensörün dinamik aralığının geniş olmasından (genellikle CMOS sensörlerinin iki katı) dolayı daha iyi renk derinliğine sahip olması,
- iii. Daha yüksek çözünürlük ve ışık hassasiyeti göstermesi

Tamamlayıcı Metal Oksit Yarıiletken (CMOS)

Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken sensörler (CMOS sensörler), 1963 yılında Frank Wanlass tarafından icat edilmiştir. CCD sensörlerde olduğu gibi ışığı elektronik sinyallere dönüştürmektedir. Bu sensörler yüzlerce transistörden oluşmaktadır. Ve her bir piksel ayrı bir transistör tarafından meydana getirilmektedir. CMOS sensör, üzerindeki devreleri kullanarak piksel ölçümlerini aynı anda dönüştürmektedir. CMOS sensörlerinde her piksel için ayrı amplifikatörler kullanılmaktadır [15].

Optik fare, PC kameraları, cep telefonları ve yüksek kaliteli dijital kameralar gibi birçok yüksek hacimli ürünlerde kullanılmaktadır [16].

CMOS sensörler, CCD sensör teknolojisi kadar köklü bir teknoloji olmasına rağmen 1990'lı yıllarda ancak ticari sensör çipleri olarak kullanımı mümkün hale gelmiştir. Jet Propulsion Laboratuvarı'nda (JPL) yapılan araştırmalar sonucunda 1993 yılında geliştirilen sensör, CCD'ler ile karşılaştırılabilir performans düzeyine getirilmiştir [17].

CMOS sensörü;

- i. Etkin pikseller ve ADC aynı çip üzerinde olduğundan daha hızlı işlem hızına sahip olması,
- ii. CCD'den 100 kat daha düşük güç tüketimi göstermesi,
- iii. Otomatik pozlama, renk kodlama ve görüntü sıkıştırma gibi tümleşik kamera işlevleri doğrudan çipte yapılabilmesi,
- iv. Bir görüntü aşırı pozlandığında "lekelenmeyi" önleyebilmesi,
- v. Üretim maliyetinin düşük olması,
- vi. Tanıtıldığından bu yana kalitesinde önemli ölçüde iyileştirmelerin yapılmış olması gibi birçok kayda değer avantaja sahiptir [14].

2.2 İşlemci

Kısaca CPU (Central Processing Unit / Merkezi İşlem Birimi) olarak anılan işlemciler, bir bilgisayarda temel işlemlere yanıt veren, bunları işleyen ve sonuçları gerekli yerlere gönderen mantık devreleri olarak tanımlanabilmektedir. Getirme, kod çözme, komut gönderme ve geri yazma olmak üzere dört temel fonksiyonu yerine getirmektedir [18].

Intel firması, 1971 yılında bilgisayar teknolojisinde devrim niteliğinde olan bir silikon çip üzerinde binlerce transistörü ilk defa birleştirmiştir. Bu gelişmeyle daha öncesinde üniversite ve kamuda kullanılan ve ciddi alan kaplayan bilgisayarların küçülmesinin ve evlerde kullanılabilen PC'lere dönüşmesinin yolu açılmıştır. İşlemcide kullanılan transistörlerin sayısı arttıkça o işlemcinin hızı ve yapabildiği işlem sayısı da artmaktadır. Yıllar içinde silikon çipe yerleştirilen transistör sayıları oldukça artırılmıştır (Tablo 2.1)

[19] [20]. 2019 itibariyle Nvidia'nın geliştirdiği 9 milyar transistöre sahip olan 'Tegra Xavier SoC' CPU'su bilinen en fazla transistöre sahip mikroşlemcidir [21] [22].

İşlemcinin temel elemanları:

- “Aritmetik Mantık Birimi” (ALU – Arithmetic Logic Unit): Mantıksal kararlar veren veya aritmetik işlemleri yapan temel işlem yapan birimidir.
- Matematiksel İşlem Birimi (FPU): Ana mikroşlemci bazı hane sayısı fazla olan matematiksel işlemlerde (floating point gibi) veya nokta yoğunluğu artan grafik işlemlerinde mikroşlemci yavaşladığında otomatik olarak iç kontrolörü vasıtasıyla devreye girerek performansı düşürmemektedir.
- Kaydediciler ve Sayıcılar: Mikroşlemci içerisindeki veya mikroşlemci ile diğer devreler arasındaki işlemleri destekleyen devrelerdir. Saklayıcılar CPU'nun ufak birer bilgi depolama birimleridir ve diğer bellek birimleri gibi ikili (binary) hücrelerden (filp, floplardan) oluşmaktadır.
- Önbellek hafızası: programların çalışmasında tekrar tekrar kullanılan programların ve işlemlerin ve CPU'nun daha sonra ihtiyaç duyacağı bilgilerin depolanmasını sağlamaktadır. Bilgisayar işlemcisi, bu bilgileri bilgisayarın ana belleğinden almak yerine, önbellekten hızla erişebilmektedir [20].

Günümüzde çoğu işlemci çok çekirdeklidir; IC'nin gelişmiş performans, düşük güç tüketimi ve birden fazla görevin eşzamanlı olarak daha verimli işlenmesi için iki veya daha fazla işlemci içerdiği anlamına gelir (paralel işleme). Çok çekirdekli ayarlar aynı bilgisayarda kurulu birden fazla ve ayrı işlemciye sahip olmasına benzer, ancak işlemciler aslında aynı sokete bağlı olduğundan, bunlar arasındaki bağlantı daha hızlıdır [23].

İşlemci terimi, merkezi işlem birimi (CPU) terimi özdeş kullanılmaktadır. Ancak bilgisayarda yer alan tek işlemci değildir. Grafik işlemcisi (grafik işleme birimi) göze çarpan diğer bir örneğidir. Bilgisayar içinde sabit disk ve diğer cihazlar da bağımsız bir şekilde işlem gerçekleştirmektedir [24].

Kişisel bir bilgisayardaki veya küçük cihazlara gömülü olan işlemciye genellikle mikroişlemci denilmektedir. Bu terim, işlemcinin öğelerinin tek bir entegre devre (IC) yongasında bulunduğu anlamına gelmektedir.

Mikroişlemciler mimari (architecture) olarak gruplara ayrılmaktadır. Ortak mimariye sahip olan işlemciler aynı komutları tanımakta ve aynı yazılımları çalıştırabilmektedirler [25].

İşlemciler için mimari açıdan CISC işlemciler ve RISC işlemciler diye iki tip kategorizasyon yapılmaktadır. 1970'lerde veri saklama cihazları ve hafıza bugüne göre çok kısıtlı olduğu için kaynakları tasarruflu bir şekilde kullanabilmek için Intel x86 tabanlı işlemcilerde CISC (Complex Instruction Set Computing-Karmaşık komut seti ile hesaplama) diye bilinen bir mimari geliştirilmiştir. Değişken uzunluktaki komutları ve karmaşık komutları barındırması CISC'in karakteristik iki özelliğidir. Basit komutlar karmaşık komutlardan daha kısa olması bu duruma gerekçe gösterilebilir. Ayrıca karmaşık komutlar da iki ya da daha fazla komutu tek bir komut haline getirdikleri için hem hafızadan hem de programda yer alması gereken komut sayısından tasarruf sağlamaktadır [26].

CISC ciddi kısıtlamalara sahip olması ve hafızayı tasarruflu kullanmanın öneminden dolayı sonraki yıllarda CISC'a rakip olarak RISC (Reduced Instruction Set Computing - daraltılmış komut seti ile hesaplama) ortaya çıkmıştır [27].

RISC işlemcileri, daha az sayıda bilgisayar talimatı gerçekleştirecek şekilde tasarlanmıştır, böylece saniyede milyonlarca komut gerçekleştirerek daha yüksek hızda çalışabilmektedir. RISC işlemcileri, CISC (karmaşık komut seti hesaplama) işlemcileri ile karşılaştırıldığında gereksiz talimatları söküp ve yolları optimize etmesi açısından güç konusunda üstün performans sunmaktadır.

2.2.1 ARM İşlemci

Bir ARM işlemci, Advanced RISC Machines (ARM) tarafından geliştirilen RISC (azaltılmış komut seti bilgisayarı) mimarisine dayanan bir CPU ailesinde yer almaktadır. ARM mimarisi ilk olarak 1980'lerde Acorn Computers tarafından geliştirilmiştir ve 32, 64 bit versiyonları bulunmaktadır [28].

ARM işlemcileri akıllı telefonlar, tabletler, multimedya oynatıcılar gibi tüketici elektroniği cihazlarında ve giyilebilir cihazlar gibi diğer mobil cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [29]. Azaltılmış komut dizileri nedeniyle, daha az transistör gerektirir, bu da entegre devre (IC) için daha küçük kalıp boyutu sağlar. ARM işlemcinin küçük boyutu, azaltılmış karmaşıklık ve düşük güç tüketimi, bunları giderek minyatür hale getirilmiş cihazlar için kullanımını uygun hale getirmektedir [28].

ARM işlemcilerin basitleştirilmiş tasarımı, geliştiriciler için daha verimli çok çekirdekli işlem kapasitesi ve kolay kodlama olanağı kullanım avantajları sağlamaktadır. X86 pazar lideri Intel ürünleri ile aynı ham hesaplama işlem hacmine sahip olmasalar da ARM işlemciler bazen her iki mimaride var olan uygulamalar için Intel işlemcilerin performansından daha iyi sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır.

ARM işlemcilerin tam boyutlu dizüstü bilgisayarlarda kullanılmaya başlamasıyla pazardaki rekabet artış göstermiştir. Microsoft, Surface tabanlı bilgisayarların ARM tabanlı sürümlerini çıkarmıştır. Windows RT'ye karşı x86 sürümlerinin daha temiz kod tabanı da katkısı olduğu düşünülmektedir. Windows RT daha düzenli hale gelmiştir, çünkü bazı eski donanımları desteklemesi zorunluluğu ortadan kalkmıştır.

Aynı zamanda ARM; ham hesaplama gücünün, watt/performans parametresinde değerlendirilmesi yoğun olduğu için pazarda yer alma girişimleri mevcuttur. AMD, Opteron serisi işlemcileri için 8 çekirdekli ARM işlemci seçeneği sunmaktadır [30].

2.3 Raspberry Pi

Başlangıçta bilgisayar bilimleri eğitimi için geliştirilen ve o zamandan beri dijital hobiler ve Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarının üreticileri tarafından popüler hale getirilmiş olan Raspberry Pi, küçük ve tek kartlı bir bilgisayardır. Temel modeli 35 \$ olan bir kredi kartı boyutunda olan Raspberry Pi, 64-bit dört çekirdekli ARMv8 işlemciye sahiptir. İşletim sistemi (OS) için Linux'un bir Raspbian dağıtımını kullanmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1 Raspberry Pi 3 [31]

Raspberry Pi bilgisayarı, 1 GB RAM, bağlantı portları, Micro SD kart yuvası, kamera ve ekran ara yüzleri ve ses / video için jaki olan bir yonga sistemli (SoC) kablosuz internet platformudur. Bilgisayar, Cambridge Üniversitesi'nde emekli öğretim görevlisi Eben Upton tarafından tasarlanmıştır [32]. Ayrıca Birleşik Krallık (İngiltere) merkezli Rasperry Pi Vakfı kurulmuştur. Vakıf, 2015 yılında piyasaya sürülen 5 dolarlık bir model olan Raspberry Pi Zero dahil olmak üzere birkaç Raspberry Pi sürümünü piyasaya sunmaktadır. Vakfın misyonu, "dijitalleşmenin gücünü dünyanın her yerindeki insanlara ulaştırmak" olarak belirlenmiştir. İlk Rasperry Pi ürünü 2012 yılında piyasaya sunulduğundan beri sekiz milyondan fazla satışı söz konusudur.

2.4 Dijital Kamera ve Görüntü

Dijital kamera, görüntüleri dijital biçimde kaydetmekte ve saklamaktadır. Mevcut birçok model, durağan görüntülere ek olarak ses veya video da alabilmektedir. Yakalama, genellikle CCD veya CMOS fotosensörleri kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu kaydedilen dijital görüntüler hemen bir bilgisayara yüklenebilmekte veya daha sonra bir bilgisayara veya yazıcıya yüklenmek üzere

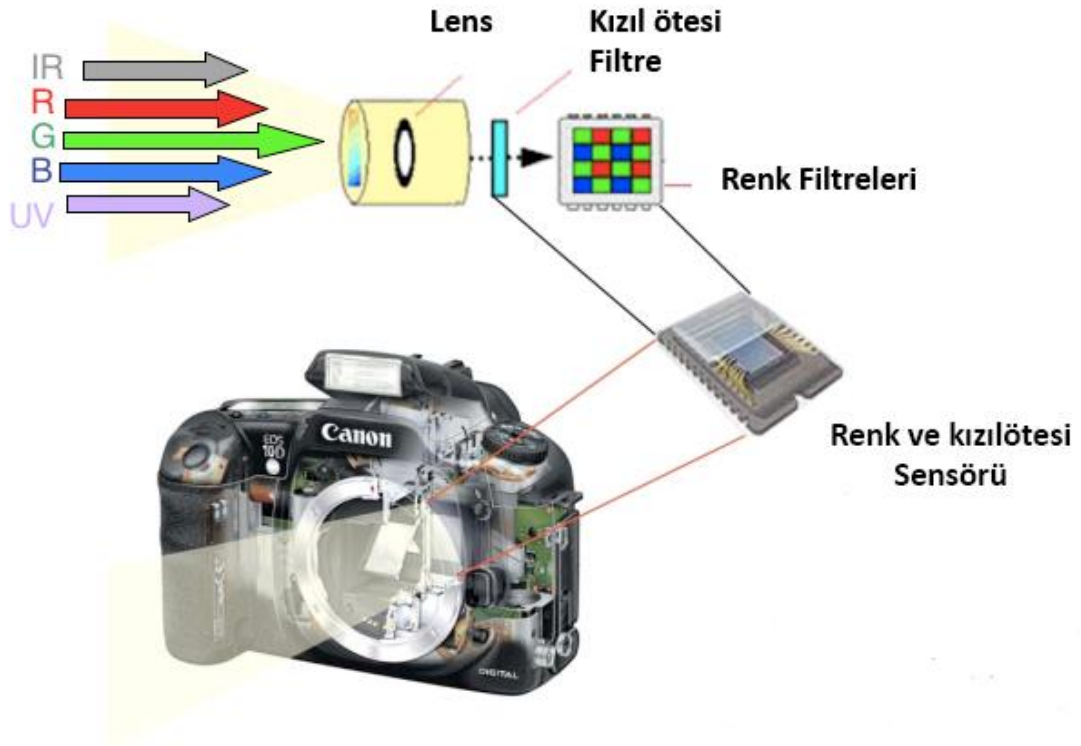
kamerada saklanabilmektedir. Dijital görüntüler, fotoğrafik bir kompakt diskte veya harici sabit diskte de arşivlenebilmektedir [33].

Görüntüler dijital ve analog görüntüler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bir dijital görüntü, üç boyutlu yapının iz düşümsel iki boyutlu düzlemde $f(x,y)$ fonksiyonu şeklinde ifadenesidir. Herhangi bir koordinat çifti (x, y) için f genliği görüntünün o seviyedeki yoğunluğu olarak fonksiyon üstlenmektedir. Analog görüntüde belli bir maksimum ve minimum aralığında fonksiyonu oluşturan $f(x,y)$ için x ve y değerleri sürekli olarak değişen reel değerler almaktadır. Analog görüntünün yoğunluğu sayılarla ifade edilememektedir. Analog bir görüntüde bir resme ne kadar yakından bakılırsa bakılsın (mikroskopla büyütülürse) orada hala görüntüyü oluşturan renkler bulunmaktadır. Dijital bilgisayarlar, sürekli fonksiyonları/parametreleri işleyememektedir. Bu fonksiyonların sayısallaştırılması gerekir. Dijital (Sayısal) görüntü; $f(x,y)$ şeklinde temsil edilen sürekli görüntüyü (analog görüntü), f 'nin amplitüde (genlik) değerleri sonlu ve kesikli miktarlarla ifadesi olan $f[x, y]$ şeklinde gösterimi ile elde edilen görüntüdür. Dijital bir görüntünün 2-boyutlu dizi şeklindeki her bir elemanı $f[x, y]$ 'ye bir piksel veya pel ("resim elemanı") olarak isimlendirilmektedir [34, 35].

Renkli dijital kameralar, sadece bir ışık bandını (belirli bir dalga boyundaki ışık) değil, RGB olarak kısaltılan kırmızı (R), yeşil (G), mavi (B) olan üç bantı ölçen milyonlarca ışık sensörünü içermektedir. Renkli dijital bir fotoğrafta, piksel kırmızı, yeşil ve mavi ışığın yoğunluk ölçümlerini temsil eder. Genellikle görünen ışığın Kırmızı, Yeşil ve Mavi bileşenlerini (RGB) algılamak için üretilenler de Kızılötesi (IR) ve Ultraviyole (UV) algılamak için olanları da mevcuttur [36].

Dijital kamerada ışığın ilerleyişi ve görüntünün eldesi çeşitli basamaklardan geçmektedir. Tespit edilebilecek geniş bir ışık aralığı -tüm görünür ışık, yakın Kızılötesi (IR) ve ultraviyole (UV)- kameraya mercekten girmektedir. Birçok dijital kameranın cam merceği olduğundan UV ışığın çoğu kameraya girmeden önce emilmektedir. IR filtresi, tüm kızılötesi ışığın kamera sensörlerine ulaşmasını engellemektedir. Görünen ışık, kameranın dahili ışık sensörünün kızılötesi engelleme filtresinden geçer ve hangi renk ışığının (dalga boyunun) bir ışık sensörüne ulaştığını kontrol eden bir dizi renk filtresinden geçmektedir. Kırmızı filtreler yeşil ve mavi ışığı engeller / emer / çıkarır,

böylece kırmızı ışık sensöre ulaştırmaktadır. Sensörler ışığı elektriğe dönüştürmektedir. Işık yoğunluğu daha fazla elektrik yükü oluşturmaktadır. Sensörle birleştirilmiş bu filtre dizisi, resimden geçen ışığı kırmızı, yeşil ve mavi ışığın ölçülebilir yoğunluklarına dönüştürmekte ve görüntü oluşmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 Dijital kamera iç tasarımı [37]

GÖRÜNTÜ İŞLEME

3.1 Tanım ve Tarihçe

Görüntü işleme genellikle dijital görüntü işleme anlamına gelmektedir. Geleneksel analog görüntü işleme, fotoğrafları değiştirmek için hava fırçası gibi araçlar kullanarak yapılmıştır. Geleneksel sanatın herhangi bir ortamıyla tasarım düzenleme, fotoğraf rötuşlama olarak da yapıldığı bilinmektedir [38]. Dijital görüntü işleme ise sayısal görüntüler üzerinde yapılmaktadır.

Dijital görüntü işleme alanında son yıllarda sürekli ve önemli bir büyüme yaşanmaktadır. Görüntü işleme alanındaki donanımsal gelişmeler ve yaygın kullanılabilirliği, görüntü işlemenin kullanılabilirliğini daha da arttırmaktadır. Görüntü tanıma teknolojisi, çeşitli endüstrilerde geniş uygulama alanlarına sahiptir. Tesla, Google, Uber, Adobe Systems gibi şirketler ve girişimler yoğun olarak görüntü tanıma kullanmaktadır. Araştırmacılar, küresel görüntü tanıma pazarının 2021 yılına kadar 38,92 milyar dolara ulaşacağını tahmin etmektedir. Bu nedenle, görüntü tanıma işlevini artıran, giderek daha çok kullanılan görüntü teknolojileri (imagedtech) uygulamaları hızla geliştirilmeye devam etmektedir [39]. Görüntü işleme fotoğraf ve grafik tasarımcılığı, güvenlik, sanayi, medya, spor, elektronik, endüstri gibi hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Görüntü işleme uygulamaları daha fazla kullanılmakta, işlevsel bir problemin daha çözümü olmaktadır. Makine öğrenmesinin, tensor flow gibi deep learning algoritmalarının da gelişmesiyle obje tanıma, objelerin takibi, sınıflandırılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Dijital Görüntü İşleme, Bilgisayarla görme, Yüz tanıma, Özellik algılama, Şeritten ayrılma uyarı sistemi, Fotogerçekçi olmayan işleme, Tıbbi görüntü işleme, Mikroskop görüntü işleme, Morfolojik görüntü işleme, Uzaktan algılama vb. alanlarında uygulanmaktadır. Görüntü işleme uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bilgisayar Görme: endüstriyel tasarım, tıbbi görüntü analizi veya topografik modelleme yapılmaktadır.
- Yüz Algılama: Yüz tanıma ve çeşitli yüz algılama algoritmaları geliştirilmektedir.
- Dijital Video İşleme: Sinyal işleme, video dosyaları veya video akışları, Video işleme teknikleri VCR'lerde, DVD'lerde, video kodeklerinde, video oynatıcılarda ve diğer cihazlarda kullanılmaktadır.
- Uzaktan Algılama: Uçak, uzay aracı, uydu veya gemi gibi yerlerde gerçek zamanlı bir sinyal oluşturmak için uzaktan algılama kullanılmaktadır. Pratik uzaktan kumanda, Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), Pozitron Emisyon Tomografi (PET), X-ışını (X-ışını) alanlarında uygulamaları mevcuttur.
- Biyomedikal Görüntü Geliştirme ve Analizi: Biyomedikal görüntü geliştirme ve uygun analizlerden sonra düzgün bir şekilde işlenebilir ve objektif olarak değerlendirilmeler yapabilmek için çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Bilgisayarlı tomografi (BT) veya manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi dijital görüntüleme de kullanılmaktadır.
- Biyometrik Doğrulama: Biyometri (veya biyometrik doğrulama) insanların davranışları veya karakteristikleri ile otomatik olarak tanımlanması anlamına gelmektedir. Görüntü işleme teknolojisi biyometrik tanımlamak için de kullanılmaktadır. Çalışma prensibi veri tabanına dayanmaktadır. Sürveyans altındaki gruplardaki bireyleri tanımak için de kullanılmaktadır. Kişinin tanınması için fizyolojik benzersizlikler (parmak izi, yüz, DNA, el geometrisi, iris, retina) ve davranışsal benzersizlikler (Davranış özellikleri, ritim, ses ve yürüyüş) biyometrik tanımlayıcılar olarak çalışılmaktadır.
- İmza tanıma: karakteristik bir yapısı olan imza ve al yazısı gibi görüntülerin tanınmasında kullanılmaktadır.

- Su altı görüntü iyileştirilmesi: Işık suya girdiğinde, üssel olarak su seviyesinin derinliği ile zayıflamaktadır. Bu nedenle görünürlük mesafesi etkilenmekte ve sınırlı olmaktadır. Görüntü kalitesini artırmak, gürültüyü bastırmak, görüntüdeki kenarları korumak ve görüntünün düzgünleştirmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.
- Karakter Tanıma: optik karakter tanıma işlemi, düz metni veya el ile yazılmış metnin görsel taramasını düzenlenebilir metin haline getirmeye yaramaktadır. Bu alan örüntü tanıma, yapay zekâ ve makine görüşü konularında araştırmacılar için geniş bir alandır [40, 41].

Görüntü tanıma teknolojisinin büyümesinde hesaplamayı kolaylaştıran ve daha ekonomik hesaplama yapan açık kaynaklı araçlar önemli itki gücüne sahiptir. Günümüzde açık kaynak kodlu çerçeveler ve kütüphaneler, şirketlerin görüntü tanıma teknolojisinden katlanarak faydalanmalarını sağlamaktadır. Pascal VOC ve ImageNet gibi devasa açık veri tabanları milyonlarca etiketlenmiş görüntüye erişim olanağı tanımaktadır. Açık kaynaklı, çapraz platformlu bir kütüphaneye sahip OpenCV, profesyonel geliştiriciler tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır. OpenCV, görüntü tanıma uzmanları için ilk başvuru noktası ve en yetkili kaynak olarak kabul edilmektedir. Bilgisayarla görme için bir diğer büyük kütüphaneler kümesi OpenNN, VXL ve diğerleri yer almaktadır [39].

Dijital görüntü işlemede uydu görüntüsü kullanan uygulamalar, tele-foto, tıbbi görüntüleme, görüntülü telefon, karakter tanıma ve fotoğraf iyileştirme gibi uygulamalar için kullanılan birçok teknik, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Bell Laboratuvarları, Jet Propulsion Laboratuvarı, Maryland Üniversitesi ve diğer araştırma tesislerinde 1960'lı yıllarda geliştirilmiştir. O zamanlarda mevcut teknoloji ile bu görüntü işlemlerini gerçekleştirmek oldukça zordu. 1970'li yıllardan sonra donanıma erişimin daha kolay olması ve donanımın görüntü işlemeye daha elverişli hale gelmesiyle daha kolaylaşmıştır. Görüntüler gerçek zamanlı olarak işlenebilmeye başlanmıştır. Televizyonların görüntülenme durumu da buna örnek olarak gösterilebilir. Evlere giren bilgisayarların çok daha hızlı ve etkili hale gelmesiyle,

işlemcilerin küçülmesi ve hızlanmasıyla dijital görüntü işleme çok daha kullanışlı bir hale gelmiş ve görüntü işleme içeren gerçek hayat problemleri çözülmeye başlanmış ve böylelikle dijital görüntü işleme sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

2000'li yıllardan sonra ise çok daha hızlı bilgisayarların üretilmesiyle sayısal görüntü işleme, görüntü işlemenin en çok kullanılan hali olmaya başlamış ve oldukça pratik uygulamalar geliştirilmiştir.

Dijital sinyal işleme ilk olarak 1994 yılında Space Foundation Space Technology Hall of Fame tarafından tıbbi uygulamalar için kullanılmaya başlanmıştır [42].

3.2 Dijital Görüntü İşleme

Görüntüler bilgisayar ortamında pikseller ile ifade edilmektedir. Gerçek dünyada renkler en az üç bileşenden oluşmaktadır. Tam beyaz bir görüntü kırmızı yeşil ve mavi renklerinin maksimum ve eşit oranda karışması ile elde edilebilmektedir. Bu renklerin her birinin sıfır olduğu noktada ise siyah renkler oluşmaktadır. Temel renklerin kombinasyonuyla diğer renklerin eldesi mümkün olmaktadır.

Görüntü işleme, kameranın algıladığı ve dijitale çevirdiği verinin elektronik ortamda (işlemciler ve içlerinde koşan kodlamalar ile) amaca uygun şekilde farklılaştırmaya yönelik yapılan veri işleme çalışmaları olarak tanımlanmaktadır [43].

Analog bir görüntünün sayısal biçime dönüştürülmesi sonrası çeşitli amaçlar için (iyileştirme, onarma, sınıflandırma, sıkıştırma, anlama ve yorumlama, vb.) sayısal bilgisayarlarla işlenmesine dijital görüntü işleme adı verilmektedir.

3.2.1 Renk Uzayları

Doğadaki renkler 3 temel rengin birleşmesinden oluşmuştur. Bu ana renklere Mavi, Kırmızı ve Yeşil denilmektedir. Ana renklerin maksimum oranda eşit birleşmelerinden beyaz elde edilmektedir. Daha az ve eşit birleşmeleri sonucu grinin siyaha doğru tonları oluşacaktır. Ana renklerin en az olması durumunda da siyah oluşacaktır.

Dijital ortamda da renklerin oluşumu, doğadaki renklerin insan gözünde oluşum mekanizmasından çok farklı değildir. Örneğin en çok kullanılan renk uzayı olan RGB için Kırmızı, Mavi ve Yeşil değerleri belli bir oranda birleşerek bilgisayar renkleri

oluşturulmaktadır. Bu şekilde bütün renkler elde edilebildiği gibi daha farklı üç birleşenin bir araya gelmesi ile de bu renkler oluşabilmektedir. Bu renk uzayları genel olarak çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Bilgisayar ortamındaki bir görüntü eğer RGB formatında ise her bir noktasının yani piksel değerinin hem kırmızı hem mavi hem de yeşil değerleri dijital olarak mevcuttur [35].

3.2.1.1 RGB

Doğadaki en temel renk uzayı RGB renk uzayı görüntü işlemede sıklıkla kullanılmaktadır. Görüntünün oluşumunda temel faktör olan 3 ana rengin belirli oranda birleşmesi ile doğada yer alan tüm renkler elde edilmektedir. Cisimlerin tanımlanması RGB ile mümkün olmasına rağmen efektif bir ayırma söz konusu olmamaktadır.

Genellikle kameralarda görüntü eldesi RGB renk uzayı düzleminde oluşmaktadır. RGB renk uzayı, gözün görme mekanizmasına en yakın görüntü eldesini mümkün kılmaktadır.

RGB renk uzayı, kırmızı, yeşil ve mavi renklerin farklı tonlarının birbirleri ile karışması sonucu oluşan renkleri ifade etmektedir. Her bir renk 0 ile 255 değerleri arasında değerlerle ifade edilmektedir. Örneğin kırmızı renk kanalı için 1 çok açık kırmızıyı ifade ederken 255 çok koyu kırmızıyı ifade etmektedir. Aynı şekilde Mavi ve Yeşil kanalı için de bu böyledir. Örneğin tam kırmızı elde edebilmek için kırmızı kanalına 255, mavi ve yeşil kanallarına 0 değerlerini vermek yeterlidir.

RGB renk uzayının yanı sıra farklı amaçlar için kullanılan YCrCb, HSV, YUV gibi renk uzayları da vardır. Bunlardan en çok YCrCb ve HSV renk uzayları kullanılmaktadır. Kullanım amacına göre laboratuvar ortamında geliştirilmiş daha farklı renk uzayları da mevcuttur [44].

3.2.1.2 HSV

HSV renk uzayı renk özü denilen hue, doygunluk olan saturation ve value değerlerinden oluşmaktadır. HSV renk uzayı, renk özü bilgisini hue kısmında tuttuğu için renkler birbirlerinden kolaylıkla ayrılabilir. Ten rengini tespit etmek için renk özü

şeklinde ifade edilen hue değerinin 0 ile 50 arası olması ve Saturation (S) değerinin ise 0,23 ile 0,68 arasında gerekmektedir [45].

3.2.1.3 YCrCb

Televizyon yayınları için kullanılan renk uzayıdır [46]. Ten rengi algılamada diğer renk uzaylarına göre oldukça başarılıdır. Y, Cr, Cb renk parametreleri ten rengini kolaylıkla bulabilmektedir ve literatürde ten algılama konusunda en çok kullanılan renk uzayıdır. Daha çok Y değerinin 16 ile 235 arasında, Cb ve Cr değerlerinin de 16 ile 240 arasında olduğu üzerinde durulmuş ve ten renginin tespiti için daha farklı şeyler de denenmiştir [46] [47]. Ancak bu çalışma için yapılan denemeler daha farklı aralıklarda çalışmanın arka planı azaltmada daha başarılı olunabileceğini göstermiştir.

Ayrıca YCrCb renk uzayı renkleri parlaklık ve renklilik değerine göre ayırmaktadır. Ten renginin tespitinde parlaklık, ışık değerlerinin değişiminden çok fazla etkilenmemektedir.

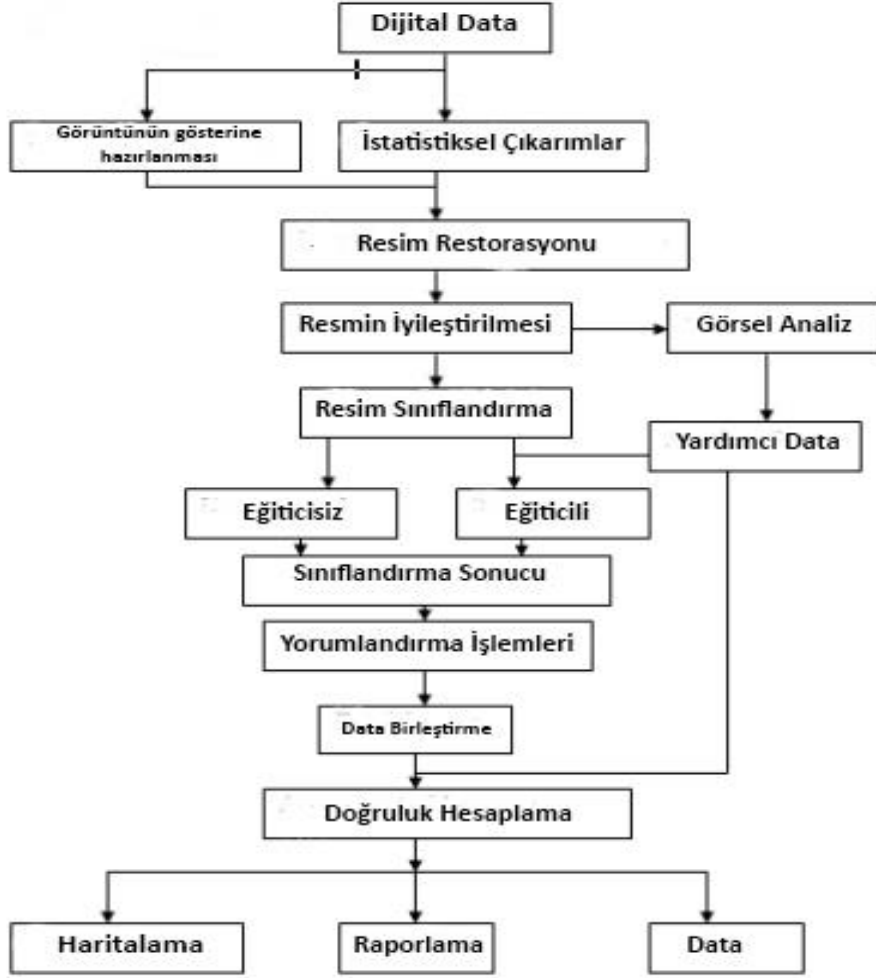
3.2.2 Dijital Görüntü İşleme Basamakları

Dijital görüntü, satırlar ve sütunlar halinde düzenlenmiş kare piksellerden (resmin öğeleri) oluşan bir dizi veya matris olarak tanımlanmaktadır. Görüntü işleme, bir görüntüyü dijital forma dönüştürmek, iyileştirilmiş bir görüntü elde etmek için üzerinde bazı işlemler gerçekleştirme işlemidir. Dijital olarak görüntü işleme, iki boyutlu bir resmin bir bilgisayar tarafından işlenmesi olarak tanımlanmaktadır [48].

Dijital görüntü işleme, birçok bileşik algoritma kullanılmasına izin vermektedir. Bu sayede analog yöntemlere kıyasla basit görevlerde bile yüksek performans ve mümkün olmayan tekniklerin uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Dijital tekniği kullanırken tüm veri türlerinin gerçekleştirilmesi gereken üç genel aşama ön işleme, geliştirme-görüntüleme, bilgi çıkarmadır (Şekil 3.3).

Dijital görüntü işlemede temel adımlar, görüntü elde etme, görüntünün ön işleme tabii tutulması, bölümlendirilmesi, gösterilmesi ve tanımlanması ve tanınması ve yorumlanması gibi çeşitli adımlardan oluşmaktadır. Dijital görüntü işlemede her adım

dijital görüntü bilgisi ve analiz edilecek görüntünün bilgisi ile yakından ilişkilidir.

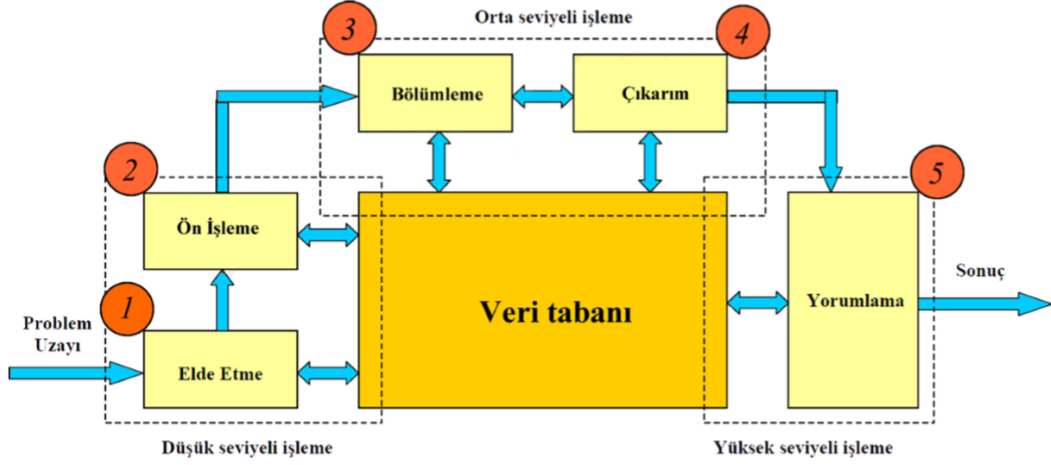


Şekil 3. 3 Görüntü İşleme Akış Şeması [48]

Dolayısıyla bu bilgiler ışığında çeşitli amaçlar için (iyileştirme, onarma, sınıflandırma, sıkıştırma, anlama ve yorumlama, vb.) dijital bilgisayarlarla işlenmesi suretiyle dijital görüntü işleme eylemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.4) [35, 49].

3.2.2.1 Görüntü Alma (Elde Etme)

Dijital görüntü işlemenin ilk adımı veya temel adımdır. Görüntü edinme altında görüntü dijital formatta verilmiştir. Dijital görüntü dijital kamera yardımıyla elde edilmektedir. Görüntü, bir CCD (Şarjlı Bağlantılı Cihaz) kamera veya CMOS (Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken) dijital kamera ile yakalanmaktadır.



Şekil 3. 4 Dijital Görüntü İşleme Basamakları [35]

Kamera, absorbe edilen fotonlar tarafından üretilen elektrik yüklerini toplamak için bir dizi ışığa duyarlı eleman olan sensörlerden oluşmaktadır. Bu elektrik yükleri daha sonra çerçeve tutucusu vasıtasıyla dijital bir görüntüye dönüştürülen bir elektrik sinyaline dönüştürülmektedir. Son olarak, görüntü işleme amacıyla bir PC'ye aktarı yapılmaktadır [50]. Uygulanan işlemin mahiyetine bağlı olarak yüksek çözünürlük ve kalitede elde edilmesi analiz edilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Bu dijital görüntünün aşaması, genellikle ikinci aşamada yer alan ölçeklendirme gibi bazı işlemleri içerebilmektedir.

3.2.2.2 Ön İşleme

Giriş görüntüsünde bazı ön işleme işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Ön işleme, elde edilen dijital görüntüyü kullanmadan önce daha başarılı bir sonuç elde edebilmek amacıyla görüntünün bazı ön işlemlerden geçirilmesi olarak tanımlanabilir. Ön işleme tekniklerinin amacı, istenmeyen bozulmaları bastırmak için görüntü verilerini geliştirmek ve giriş görüntüsünün bazı özelliklerini geliştirmektir. Ön işlemler temel olarak;

- görüntü iyileştirme (image enhancement),
- görüntü onarma (image restoration) ve
- görüntü sıkıştırma (image compression) alt başlıkları altında toplanabilir.

Görüntü ön işleme, görüntülerin kontrast gerilmesi, histogram denkleştirme, filtreleme yoluyla gürültü azaltma, homojen olmayan aydınlatma telafisi vb. ile iyileştirilmesi için gereklidir. Görüntüdeki kontrastı arttırmak için kontrast germe ve histogram eşitlemesi en çok kullanılan tekniklerdir [49].

Ön işleme tekniklerinin amacı, istenmeyen bozulmaları bastırmak için görüntü verilerini oluşturmaktır. Giriş görüntüsünün bazı özelliklerini geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü görüntülerde işlem yapılmasının daha uzun sürmesi nedeniyle görüntü boyutunun küçültülmesi gerekir. Sonra renkli görüntü gri skalaya dönüştürülür, çünkü her piksel için daha az bilgi sağlanması gerekir. Aslında gri renk, kırmızı, mavi ve yeşil bileşenlerin eşit yoğunlukta olduğu renktir; bu nedenle, her piksel için tek bir yoğunluk seviyesi değeri belirtmek gerekir [40].

Gürültüyü azaltmak için düşük geçişli filtreleme çok önemli bir teknik olarak yer almaktadır. Hem mekânsal hem de frekans alanlarında düşük geçişli filtreleme kullanarak görüntü yumuşatmayı içermektedir. Mekânsal düşük geçişli filtrelemede, görüntüde istenmeyen gürültüyü azaltmak için görüntü matrisi ile bir filtre maskesi kıvrılmaktadır (görüntü yumuşatma). Medyan filtre, bir görüntüdeki darbe gürültüsünü gidermek için kullanılmaktadır (görüntü yumuşatma). Butterworth ve Gaussian düşük geçiş filtreleri, frekans alanındaki bazı genel düşük geçiş filtreleri olarak kullanılmaktadır. Bir görüntünün keskinliğini arttırmak için yüksek geçişli filtreler kullanılmaktadır (görüntü netliği). Keskin maskeleme (düşük frekans bileşenlerini tutan yüksek frekans bileşenlerini vurgulamak için), Laplacian filtre (ikinci dereceden filtre) görüntü keskinleştirme amacıyla kullanılan bazı uzaysal yüksek geçiş filtreleri olarak filtreleme yöntemleri arasında yer almaktadır [49].

Görüntü İyileştirme

İyileştirme, elde edilen görüntünün orijinal görüntüden daha iyi olması için bir görüntünün işlenmesi anlamına gelmektedir. Bir görüntünün iyi olup olmaması göreceli bir kavram olduğu için görüntü iyileştirme konusunda bir teori geliştirilmesi zor olmaktadır.

Görüntü Onarma

Görüntü restorasyon teknikleri, bir görüntünün veya matematiksel modellerin olasılık analizine dayanmaktadır. Bir görüntünün kalitesini artırmak için çeşitli filtreler kullanılmaktadır. Görüntünün edinimi sırasında, piksel değerlerinde veya kamera hareketinden dolayı odaklanmayan veya bulanık olmayan hataları gösteren gürültüler oluşmaktadır. Bunlara bozulma adı verilmektedir. Görüntü onarımı (restorasyonu), bozulmaları gidermektedir.

Görüntü Sıkıştırma

Veri sıkıştırma terimi, belirli bir bilgi miktarını temsil etmek için gereken veri miktarını azaltma işlemi ifade etmektedir. Görüntü sıkıştırma, bant genişliğini azaltmak ve depolama alanını azaltmak anlamına gelir. Bant genişliğinin azaltılması iletimde kolaylık verinin kapladığı alanın küçültülmesi ise depolama alanı açmayı sağlamaktadır. Sıkıştırma tekniği, fazlalıkların kaldırılmasıyla resimsel bilgileri daha kompakt bir biçimde göstermektedir.

Görüntü sıkıştırma için kaynak kodlayıcı ve kaynak kod çözücü kullanılmaktadır. Herhangi bir kodlama arası pikseli azaltmak veya ortadan kaldırmak için kullanılır. Birinci aşamada kaynak kodlama işleminde eşleyici, fazlalıkları azaltmak için girdi verilerini bir formata dönüştürür. İkinci kaynak kodlama işleminde, niceleyici kullanımı, eşleştiricinin verimini düşürür. Psikolojik görsel fazlalıkları azaltır. Son aşamada, sembol kodlayıcı, niceleyici çıkışına kodlayan değişken veya sabit uzunlukta kullanın. Kanal gürültüsünün etkisini azaltmak için kaynak kodlu verinin içine fazlalık eklenir. Esas olarak kanal kodlayıcı ve kod çözücü bu amaç için kullanılır.

Görüntü sıkıştırmanın amacı, verilerin yetersiz bir alanda biçimde depolanabilmesi veya iletilmesi için görüntü verilerindeki önemsizlikleri ve yetersizlikleri ortadan kaldırmaktır.

Görüntü sıkıştırma stratejilerin kayıplı ve kayıpsız olarak sınıflandırılmaktadır. Kayıpsız teknik, geri yüklenen veri dosyasının orijinal dosya ile aynı olduğu anlamına

gelmektedir. Kayıpsız teknik, arşivleme nedenlerinden dolayı ve sıklıkla tıbbi görüntü işleme, teknik çizimler, küçük resimler veya çizgi romanlar için tercih edilmektedir.

Bazen görüntü sıkıştırma sonucu kayıplar yaşanabilmektedir. Görüntüleri ve diğer edinilen sinyalleri temsil eden veri dosyalarının saklama veya aktarma için mükemmel durumda tutulması zorunlu değildir ve bazı değişiklikler yapılırsa az miktarda ek gürültü oluşabilmektedir. Bu teknik kayıplı olarak bilinmektedir. Kayıplı sıkıştırma teknikleri, özellikle kısa bit hızlarında koşulduğunda sıkıştırma yapılarını ortaya çıkarmaktadır. Kayıplı yöntemler özellikle hafif bazen fark edilmeyen kaybın yüksek bit hızına ihtiyaç duymayan cihazlardaki fotoğraflarda bit hızında yoğun bir düşüş elde etmek için uygun olduğu cihazlardaki fotoğraflar gibi normal görüntüler için uygundur. Fark edilmeyen farklar oluşturan kayıplı sıkıştırma, görsel olarak kayıpsız diye söylenebilmektedir [49].

3.2.2.3 Kenar Algılama ve Segmentasyon (Bölümleme)

Kenar algılama aşaması, görüntünün özelliklerinde bazı önemli değişiklikleri ve olayları yakalamak için bazı noktaların tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Segmentasyon (bölümleme, bölütleme, parçalara ayırma) aşaması ise görüntü işlemenin en zor uygulamasıdır. Görüntü bölümlenmesi görüntü birden fazla bölüme tanımlanmaktadır. Bu sayede oluşan segmentler daha anlamlı ve analiz edilmesi kolay bir görüntü eldesini sağlamaktadır. Segmentlerle bir görüntüdeki nesne ve arka planın veya görüntü içerisindeki ilgilenilen değişik özelliklere sahip bölgelerin birbirinden ayrıştırılması gerçekleştirilmektedir. Segmentasyon, görüntü piksel piksel tarayarak ve ardından her pikselin etiketlenmesinden sonra gri seviyesinin eşik değerinden daha büyük veya daha az olmasına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Segmentasyon, bir görüntüdeki nesnenin sınırları ve alanlarını tespit ederek şekli üzerinde ham bilgiler üretmektedir. Nesnenin şekli ile ilgileniliyorsa o nesnenin kenarları, köşeleri ve sınırları hakkında bilgiler verebilmektedir. Görüntü içerisindeki nesnelerin yüzey kaplaması, alanı, renkleri, iskeleti gibi iç özellikleriyle ilgilenilmekteyse de bölgesel bölümleme yapılmamaktadır. Karakter veya genel olarak örüntü (pattern) tanıma gibi oldukça karmaşık problemlerin çözümü için her iki bölümleme yönteminin (sınırlar ve alanlar) bir arada kullanılması gerekebilmektedir.

Görüntü bölünmesi durumunda, görüntü birden fazla bölüme tanımlanmaktadır. Bu segmentler sayesinde daha anlamlı ve analiz edilmesi kolay bir görüntü elde mümkün kılınmaktadır. Segmentasyon, görüntü pikselini piksel cinsinden tarama işlemi ve ardından her pikselin etiketlenmesinden sonra, gri seviyesinin eşik değerinden daha büyük veya daha az olmasına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir [35] [40].

3.2.2.4 Çıkarım

Morfolojik işlemlerden geçirilen dijital görüntüde, görüntü işleme teknikleri kullanıldıktan sonra söz konusu görüntüden ilgilenilen nesne veya sonuç elde edilmektedir. Yani aranan özellikli alanların arka plandan ve birbirinden ayrıştırılmasıdır [35] [40].

3.2.2.5 Yorumlama (Sınıflandırma)

Yorumlama aşamasında çeşitli karar verme mekanizmaları (yapay zeka algoritmaları, adaboost, destek vektör makineleri KNN, Karar ağaçları gibi) ile görüntüdeki arka plandan çıkarılmış nesnelerin veya bölgelerin etiketlenmesi, sınıflandırılması yapılmaktadır (Ders notları). Görüntü sınıflandırma, görüntü işlemede kritik bir rol oynamaktadır. Görüntü sınıflandırmadaki ana adımlar, uygun sınıflandırma sisteminin seçimi, eğitim örneklerinin seçimi, özellik çıkarımı, uygun sınıflandırma algoritmaları ve doğruluk değerlendirmeleri olarak sıralanabilmektedir [51].

Gürültüyü azaltmak için düşük geçişli filtreleme çok önemli bir tekniktir. Hem mekansal hem de frekans alanlarında düşük geçişli filtreleme kullanarak görüntü yumuşatmayı içermektedir. Mekansal düşük geçişli filtrelemede, görüntüde istenmeyen gürültüyü azaltmak için görüntü matrisi ile bir filtre maskesi kıvrılır (görüntü yumuşatma). İstatistik işlemler veya medyan filtre, bir görüntüdeki darbe gürültüsünü gidermek için kullanılmaktadır (görüntü yumuşatma). Butterworth ve Gaussian düşük geçiş filtreleri, frekans alanındaki bazı genel düşük geçiş filtreleridir. Bir görüntünün keskinliğini arttırmak için yüksek geçişli filtreler kullanılır (görüntü netliği). Keskin maskeleme (düşük frekans bileşenlerini tutan yüksek frekans bileşenlerini vurgulamak için), Laplacian filtre (ikinci dereceden filtre) görüntü keskinleştirme amacıyla kullanılan bazı uzaysal yüksek geçiş filtreleridir [49].

3.2.3 Görüntü İşleme Araçları

Görüntü işleme en temelinde matrislerin kendileri ile veya birbirleri ile olan ilişkilerinden hareketle değiştirilmesi, güncellenmesi, anlamlı verilerin çıkarılması gibi işlemler olduğu için herhangi bir programlama dili ile toplama çıkarma gibi piksellerin alınıp hesaplanması yapılabilir. Birçok görüntü işleme adımı matlab toolbox ile yapılabilmektedir. Bu açıdan matlab genel olarak görüntü işleme projelerinde öncelikle denemenin yapıldığı bir ortamdır. C, C++, C#, python, java gibi dillerde de görüntü işlemenin kolaylıkla yapılabileceği yardımcı araçlar mevcuttur. Bu araçlar görüntü işleme yapmak isteyen geliştiricilere görüntü işleme yaparken çok fazla ihtiyaç duyacakları fonksiyonları hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirebilme imkânı sunmaktadır. Bu kütüphanelere örnek olarak opencv gösterilebilir ve sektörde en fazla kullanılan kütüphanelerdendir.

Görüntü işleme filtreleri, dijital görüntülerin dönüşümünü sağlamaktadır. Görüntü işleme araçları ve python dili kullanılarak uygulamak görüntü işlemede sıklıkla kullanılmaktadır.

3.2.3.1 İşleme Aletleri

- 1)DIY Filtreleri: Kendin yap filtreleri görüntüleri işlemeyi, görüntünün piksellerini yinelemeyi ve üzerinde işlem gerçekleştirmeyi basitleştirmektedir.
- 2)Standart Filtreler: İşleme, Photoshop veya Gimp gibi Görüntü işleme programlarında yaygın olarak kullanılan bir grup filtreyle birlikte yapılmaktadır.
- 3)GPU Filtreleri: OpenGL piksel gölgeleyicileri kullanarak da filtreler uygulanabilmektedir. Görüntü işleme kapasitesi yüksek olan GPU'lar kullanılmaktadır.
- 4)OpenCV Filtreleri: OpenCV, temel görüntü işlemeden gelişmiş bilgisayar görmesine kadar her türlü algoritmayı içinde barındırmaktadır. İşlem için OpenCV kütüphanesi bunlara erişim sağlamaktadır.
- 5)ImageJ Filtreleri: Martin Schneider tarafından yapılmış olan ImageJ, bünyesinde yer alan İşleme Kütüphanesi (Processing Library / Wrapper for ImageJ) üzerinde görüntü

işleme yapabilmeye olanak tanımaktadır. Görüntü işleme sırasında görüntünün iskeletini çıkarmak gibi görüntü operasyonları gerçekleştirilebilmektedir.

3.2.3.2 Python Araçları

- 1)PIL: Python Imaging Library görüntü işlemek için kayda değer kolaylıklar sağlamaktadır.
- 2)SciKit-Görüntü: Scikit-image, görüntü işleme için kullanılan bir algoritmalar topluluğudur.
- 3)SimpleCV: SimpleCV, OpenCV (ve diğer birkaç araç) için resim işlemeyi gerçekten kolaylaştıran bir python görüntü işleme aracıdır.

3.2.3.3 Dataflow Araçları

FilterForge: FilterForge, düğüm tabanlı bir veri akışı programlama dili kullanarak filtreler oluşturmaya olanak sağlayan ticari bir uygulamadır. Adobe Photoshop için bir eklenti olarak kullanılabilir ve 10.000'den fazla Görüntü İşleme Filtresi kullanım imkânı sağlamaktadır [52].

Ayrıca Matlab, akademik manada teorilerin ispatı, düşünülen çözümlerin denenmesi noktasında geliştiricilere oldukça faydalı olabilmektedir. Ancak çok yüksek seviyeli işlemci kullanımından dolayı gerçek zamanlı uygulama testlerinde pek kullanılamamaktadır. Bu bakımdan çalışmada sistemin tasarlanması aşamasında da C, C++ gibi düşük seviyelerde de kullanılacak opencv kütüphanesi tercih edilmiştir. Üstelik bu kütüphane raspberry pi 3 işletim sistemine de kolayca kurulabilmekte, bu donanımda C, C++, python dilleri ile kullanılabilir. Ayrıca dokümantasyon konusunda da opencv raspberry pi ve c++ tercihleri oldukça yeterlidir. Ayrıca dil olarak C++ tercihinde makine diline yakın olması, object oriented olması da geçmektedir. Görüntü işlemede Opencv, Matlab, Emgucv, Openframeworks sıklıkla tercih edilen kütüphaneler olarak sıralanabilmektedir.

3.2.4 Filtreler

Filtre işlemi, genel olarak bir maskenin bir resim üzerindeki konvülsiyonunu, yani tüm görüntü boyunca ağırlıklı bir maskeyi geçirmeyi ifade etmektedir. Maske denilen yapı aynı zamanda pencere, şablon olarak da isimlendirilmektedir [53]. Bu maskeler, özel olarak ağırlıklandırılmış matrislerdir.

Filtre kullanımı genellikle ön işleme aşamasında gerçekleşmektedir. Kenar belirleme ve segmantasyonda da kullanılmaktadır. Görüntü işlemede çeşitli filtreler mevcuttur:

1. Wiener Filtresi: Wiener filtresinin gürültü düzeltme ve ters filtreleme işlemlerinde ortalama kare hatasını azaltması en belirgin avantajı olarak bilinmektedir. Orijinal görüntünün doğrusal bir kestirimidir. Wiener filtreleme, gürültü varyansı düşük olduğunda önemli miktarda gürültü giderme elde edebilmektedir. Görüntünün keskin kenarlarının bulanıklaşmasına ve düzgünleşmesine neden olarak işlevini yerine getirmektedir [54].
2. Kuan filtresi: 1987 yılında Kuan, Nathan ve Kurlander tarafından geliştirilmiştir. Çarpma gürültüsü altında yerel doğrusal minimum ortalama kare hata filtresi olarak bilinmektedir. Hiçbir yaklaşıma sahip olmadığı için Lee filtresinden oldukça gelişmiştir. Çarpımsal benek modelini ilave doğrusal forma dönüştürmektedir [55].
3. Medyan Filtresi: Medyan filtreleme işlemi, önce çevreleyen bölgedeki tüm piksel değerlerini sayısal düzene göre sıralayarak ve ardından, dikkate alınan pikseli orta piksel değeriyle değiştirerek yapılmaktadır. Penceredeki piksel değerlerinin medyanı hesaplanmakta ve pencerenin merkez pikseli, hesaplanan medyan değerle değiştirilmektedir [56].
4. Frost Filtresi: Yerel görüntü istatistikleri kullanılarak benek gürültüsü için negatif bir üstel dağılım elde edilmektedir. Tahmini sinyalin ortalama kare hatasını en aza indirmek için filtre penceresinde hücre değerlerinin ağırlıklı bir ortalaması alınmaktadır [57].
5. Lee Filtresi: Çoklayıcı benek modeline dayanmakta ve ayrıntıları korumak için yerel istatistikleri kullanmaktadır. Lee filtresi varyans esasına göre

çalışmaktadır. Yani alandaki varyansın düşük olması durumunda düzleştirme işlemi yapmaktadır. Ancak bu işlem yüksek varyans için yapılmamaktadır. Bu, ayrıntıları düşük olduğu kadar yüksek kontrastta tutabildiği için uyarlanabilir nitelikte olduğu anlamına gelmektedir [55].

6.Dalgacık filtresi: Gürültüyü gidermek için dalgacık yaklaşımından son yıllarda başarılı bir şekilde yararlanılmıştır. Dalgacık kullanımının, frekans içeriğinden bağımsız olarak sinyal özelliklerini koruma suretiyle gürültüyü başarıyla giderdiği kanıtlanmıştır [58]. Dalgacık filtresinde sunulan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlere toplu olarak dalgacık ailesi yöntemleri olarak isimlendirilmektedir. Bunlar arasında Symlet, Coiflet, Haar ve Daubechies sıklıkla kullanılmaktadır. Daubechies dalgacık dönüşümleri, Haar dalgacık dönüşümü ile aynı şekilde tanımlanmaktadır. Ölçekleme sinyalleri ve dalgacıkları ile çalışan ortalamalar ve farklılıklar skaler ürünler aracılığıyla hesaplanmaktadır. Dalgacıkların arasındaki fark, bu ölçeklendirme sinyallerinin ve dalgacıkların nasıl tanımlandığına dayanmaktadır [59]. Daubechies dalgacıkları örtüşen pencereler kullanılmaktadır. Bu nedenle yüksek frekans katsayısı spektrumu tüm yüksek frekans değişikliklerini yansıtmaktadır.

7.Laplacian filtresi: Laplacian filtresi, yüksek uzaysal frekansları kuvvetle artırır ve sağlamasını yapmaktadır. Laplas filitresi temel olarak arka plandan ayıran keskin renk ayrılıkları (kenar hatlarını) belirlemek için kullanılmaktadır. Keskinleştirme Filtresi (Sharpening Filter) olarak da bilinmektedir. Keskinleştirme filtresi kullanarak asıl istenen bölgeyi boşluk veya arka plandan ayırmasına en güzel örneklerden biri akciğer lümenin zayıflatılırken bronşiyal duvarın yoğunluğu artırılması olarak verilebilir. Bu örnekte kısmi hacim etkileri nedeniyle kaybedilen bronşiyal özellikleri güçlendirme işlemi yapılmıştır. Laplacian filtresi bu tarzda kenar hatları belirlemede sıklıkla kullanılmaktadır [60]. Sıfır geçiş operatörlerinin avantajları, kenarları ve yönlerini tespit etmektir. Bu çapraz operatörde, kenarların ve oryantasyonlarının tespitinin, gradyan büyüklüğünün yaklaştırılmasından dolayı basit olduğu söylenir. İkinci avantaj, her yöndeki sabit özelliklerdir. Dezavantajı gürültüye duyarlılıktır. Kenarların ve oryantasyonlarının tespit edilmesinde görüntüdeki gürültüde artışlar bu

sonuçta kenarların büyüklüğünü bozacaktır. İkinci dezavantaj, işlemin gürültülü görüntüdeki var olan bazı kenarlardan biraz farklılaşmasıdır [61].

8.Gaussian Filtre: Kenar bulmaya yarayan yüksek geçişli filtredir.

9.Bileteral Filtre: İlk olarak Tomasi and Manduchi tarafından 1998 yılında uygulanan bileteral filtre, her pikselin yoğunluğunu, yakındaki piksellerden hesapladığı ortalama yoğunluk değerleri ile değiştirmektedir [62]. Beltrami akış algoritması Bileteral filtrenin akış omurgası olarak Kabul edilmektedir. Bileteral filtre, yakınındaki piksellerin ortalamasını alırken hem yoğunluk hem de uzaysal mesafe cinsinden ağırlıklı ortalaması alınmaktadır. Bu sayede gürültü ortalaması alınırken kenarların iyi korunması sağlanmaktadır.

Filtreler genel olarak resimleri iyileştirmek, işlemeden önce ihtiyacımız olan işlemlere uygun hale getirmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise web kameradan alınan resimdeki gürültüleri gidermek için medyan filtre kullanılmıştır. Kullanılan medyan filtre ise geçirildiği resmin üstündeki bütün piksel değerlerini büyükten küçüğe sıralayarak orta değerini alarak merkez değerine yerleştirmektedir. Böylelikle her piksel çevresindeki ortalama piksel değerine çekilmekte, karabiber tuz denilen keskin noktalar silinmiş olmaktadır [53]. Aynı zamanda resmi yumuşatmış da olmaktadır.

Medyan filtre, resmi bulanıklaştırmadan temizlerken, köşelerin yuvarlanması konusunda istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır [53]. El algılaması konusunda köşelerin yuvarlanması herhangi bir problem oluşturmayacağı için bu filtrenin kullanılması, blur filtre gibi benzerlerine göre avantaj sağlamaktadır.

3.2.5 OpenCV

Opencv (Open Source Computer Vision Library), birçok programlama dili ile uyumlu olup piyasada en çok kullanılan açık kaynak görüntü işleme kütüphanesidir. Temel görüntü işleme algoritmalarının yanında; makine öğrenmesi, deep learning gibi görüntü işleme ile bağlantılı olan uygulamaların da bilgisayara öğretilmesi, yorumlanması kısımlarında yardımcı olmaktadır. Neredeyse bütün görüntü işleme uygulamalarında, projelerinde kullanılmak üzere yaygın olarak kullanılan bir yapı

oluşturulmak için geliştirilmiştir. Makinelerin çevrelerindeki görüntüleri algılamalarını iyileştirmek, hızlandırmak için de ticari uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Opencv Kütüphanesi için 2500'den fazla optimize edilmiş, son derece hızlı çalışan algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalara, standart makine öğrenmesi ve uzaktan görme fonksiyonları dahildir. Bu algoritmaların kullanım alanları; yüz algılama ve tanıma, nesnelere belirleme, videolardaki insan hareketlerini sınıflandırma, kameradaki hareketli objeleri takip etme, 3D model çıkarımları, benzer resimlerin resim veri tabanından bulunması, flaş kullanımından oluşan kırmızı gözlerin giderilmesi, göz hareketi takip etme, dekor tanıma ve artırılmış gerçeklik oluşturulma işlemleri şeklinde sıralanabilir. Opencv 47 binden fazla kullanıcı topluluğu tarafından kullanılmaktadır ve 18 milyondan fazla kullanıcı tarafından indirilmiştir. Opencv genel olarak şirketler, araştırma grupları ve devlet kurumları tarafından kullanılmaktadır.

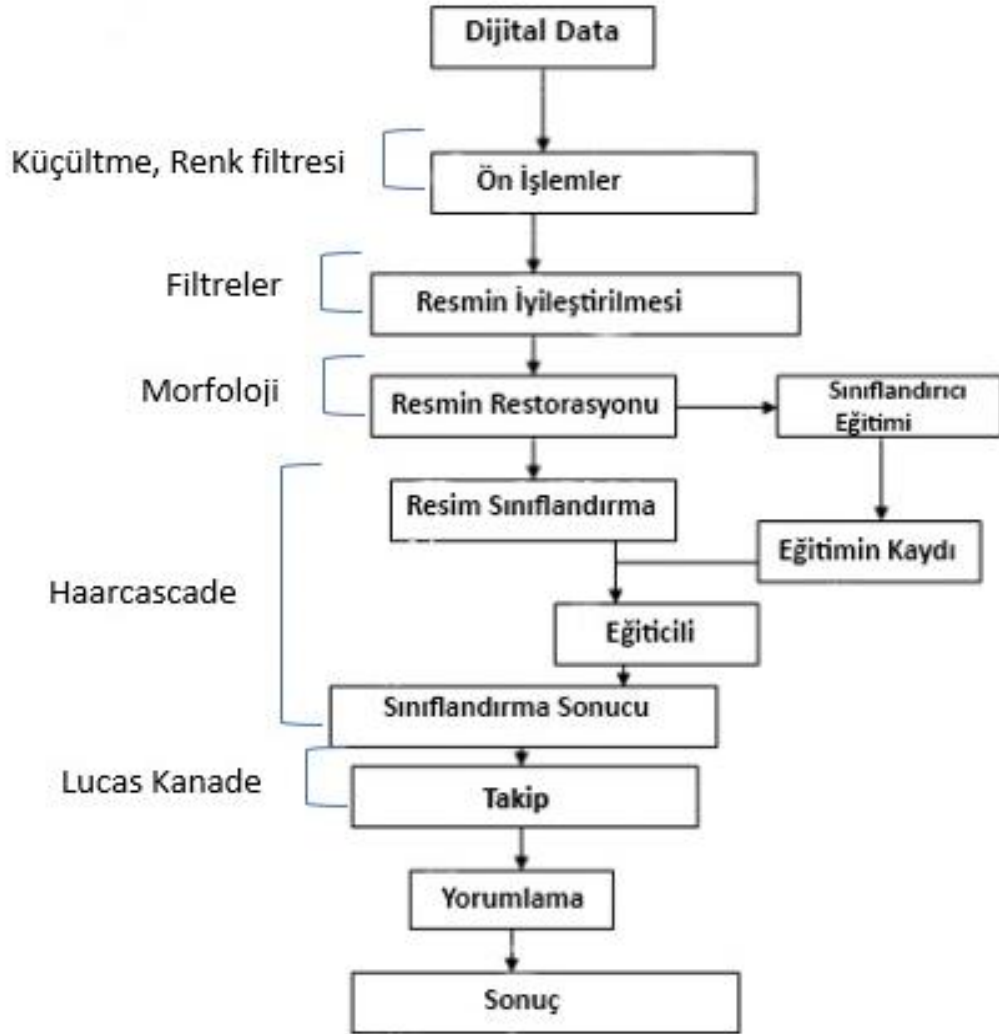
Opencv Kütüphanesi Google, Yahoo, Microsoft, Intel, IBM, Sony, Honda, Toyota gibi büyük şirketler tarafından ve küçük çaplı başlanılan startup uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. VideoSurf ve Zeitera gibi uygulamalar opencv kütüphanesi ile gerçekleştirilmiştir. Opencv İsrail'de videolu gözetim noktalarında müdahalelerin tespitinde, Çin'de mayın ekipmanlarının tespitinde, Robotların bir nesneyi algılayıp tutmasında, Avrupa'da yüzme havuzlarındaki boğulma kazalarının tespitinde, İspanya ve New York'ta interaktif sanatsal çalışmalarda, Fabrikalarda ürünlerin denetim ve kontrollerinde, Türkiye de ise enkaz kontrol alanlarında kullanılmaktadır.

Opencv Kütüphanesi C, C++, Python, Java, ve Matlab gibi ara yüzlerle beraber Windows, Linux, Android ve Mac OS ortamlarını desteklemektedir. Genel olarak gerçek zamanlı görüntü işleme uygulamalarında kullanılmaktadır. İçerisindeki algoritmaların çalışmasını çok daha hızlandırıcı uygulamalar mevcuttur. Yerel olarak C++ programlama dili kullanılarak yazılmıştır [44, 63].

3.3 İnsan Makine Haberleşmesinde Görüntü İşleme

Literatürde geliştirilen genel akış şeması, bu projede geliştirilen adımlara göre şekil 3.5'deki gibi güncellenmiştir. Bu akış şemasına göre dijital data olan görüntü, öncelikle küçültme, ten rengine göre filtreleme ön işlemlerinden geçirilerek resmin işleneceği

kısım azaltılmıştır. Sonrasında medyan filtresi ile resimdeki karıncalanmalar giderilmiştir. Sonrasında uygulanan morfolojik erozyon ve genişletme işlemleri ile resimde yaşanan kopmalar giderilmektedir.



Şekil 3. 5 İnsan Makine Haberleşmesi görüntü işleme akış şeması

Bu aşamadan sonrası ikiye ayrılmaktadır. Öncelikle, pozitif ve negatif resimlerle daha öncesinden bir haarcascade sınıflandırıcı eğitimi yapılmış ve xml dosyası elde edilmiştir. Sonrasında elde edilen xml dosyası ile resimde sınıflandırma algoritması dolaştırılarak resimde bulunan el resimleri araştırılmaktadır. Sınıflandırma sonucu bulunan el resminin üzerine referans noktaları yerleştirilerek bu noktalar Lucas Kanade algoritması ile takip edilmiştir. Takip edilen noktalar daha öncesinden belirlenen sınırlar çerçevesinde ise sonuç üretilmiştir (Şekil 3.5).

3.3.1 Morfoloji

Morfolojik filtreleme, istenmeyen yapıları görüntülerden kaldırabilen, bazı görüntüleri de istenilen şekilde genişletebilen fonksiyonel yapılardır [64]. Morfoloji genel olarak bir resmi amaca uygun bir çekirdek ile genişletmek ya da küçültmek için kullanılmaktadır. Resimdeki bir objenin ince, kopmuş bölgelerini kapatmak için kapama, çıkıntılardan kurtulmak için de açma uygulanmaktadır. Aşınma işleminde; seçilen bir çekirdek, üzerinde gezilen resimde varsa o bölgeler silinmektedir. Genişleme işleminde, seçilen çekirdeğe göre gezilen bölgede o geometrik şeklin genişletilmesi sağlanmaktadır.

3.3.2 Algılama

İnsanlar ve makineler, görsel bakımdan herhangi bir şeyi işlevsel olarak algılama tarafından benzerlik göstermektedir [65]. Temel olarak görüntü kamera tarafından alınmakta, renk, doku gibi benzerliklere göre algılanan şeylerin neler olduğu tespit edilmeye çalışılmaktadır.

Görüntü işleminin en önemli olaylarından birisi nesnelerin tespit edilmesidir. Algılama işlemi için başlıca yöntemler; Arka plan çıkartma yöntemi [66] HOG (Histogram of Gradient) [67] ile özellik çıkarılarak SVM (Support Vector Machine) ile sınıflandırılması, haar feature ile özelliklerin çıkarılarak adaboost sınıflandırıcısı ile sınıflandırılması [68] gibi yöntemlerdir.

3.3.2.1 HaarCascade

Bu yöntem görüntü işleme alanında object detection kısmında en çok referans alan yöntemlerden biridir. Viola ve Jones tarafından geliştirilen bu yöntem nesneleri parlaklık aydınlık oranlarına göre diğerlerinden ayırmayı temel alan bir yöntemdir [69]. Resimlerin üzerinden haar features denilen filtreler geçirilir. Bu filtreler üst üste geldiği noktaların aydınlık kısımlarının toplamlarından karanlık kısımların çıkarılmasının özellik olarak kullanılması temeline dayanmaktadır. Daha sonra elde edilen özellikler adaboost sınıflandırıcısında sınıflandırılarak aranılan cisim olup olmadığı sonucu dönmektedir. Bu işlem cascade denilen taranan bir yerde özellik olmadığında o kısımların elenmesi

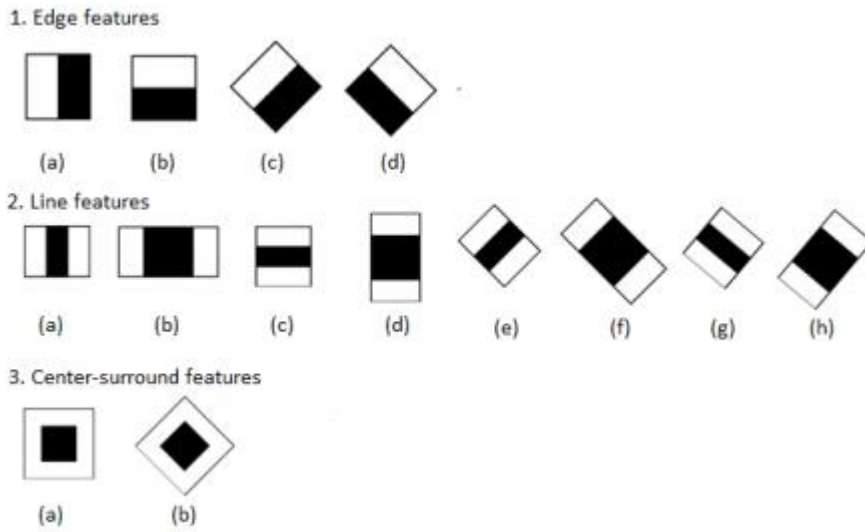
şeklinde optimize edilerek hızlandırılmış böylece hem hızlı hem de yüksek doğruluk oranı ile detection algoritması geliştirilmiştir.

Sınıflandırma işlemi, benzer nesnelerin bir arada tutulması ve bir nesnelerin benzerlerine göre yorumlanması işlemidir. İnsan yüzü, eli, tüm vücudu, arabalar ve daha birçok şey benzerliklerine göre bir araya getirilerek sınıflandırılabilir. Sınıflandırma işlemi bilgisayar tarafından yapıldığında, bu işi yapan kısma sınıflandırıcı yazılımı ismi verilebilir. Bir sınıflandırıcı yazılımı, sınıflandıracağı şeklin özelliklerini çıkararak onlar için skor oluşturur. Yeni algılayacağı nesne o skora yakınsa sınıflandırıcı devreye girerek sonuç üretir. Yapay zekâ ile benzerlik göstermektedir ki haarcascade yöntemi de adaboost algoritması yapay zekâ algoritmalarındandır.

Opencv kütüphanesinde hazır olarak bulunan haarcascade sınıflandırıcısı; Paul Viola ve Micheal Jones tarafından geliştirilmiştir. Bu yapı aynı zamanda Viola and Jones object detection framework (Viola ve Jones nesne bulma yapısı) şeklinde de bilinmektedir. Bu sınıflandırıcı yapısı şöyledir; bulunmak istenen obje, bilgisayara birçok resim üzerinden tanıtılır. Aynı zamanda içinde nesnenin bulunmadığı, olası arka plan resimleri de sisteme eklenir. Daha sonra büyük bir resim içinde ya da video akışındaki resimlerde daha önce tanıtılmış olan cisim aranır. Bir nevi bilgisayar bir nesne için eğitilir ve sonrasında o nesnenin farklı şekillerinin yorumlanması beklenir.

Haarcascade eğitiminde eğitimin başarılı bir şekilde tamamlanması için içinde aranılan nesnenin bulunduğu pozitif resimler, bir de için de aranılan nesnenin bulunmadığı ve nesnenin potansiyel olarak bulunacağı backgroundlardan oluşan negatif resimlerin bulunması gerekmektedir. Bu sınıflandırıcının eğitimindeki özellik çıkarma işlemi, daha öncesinden belirlenmiş çekirdek denilen çerçevelerdeki siyah bölgelerden beyaz bölgelerin denk geldiği piksel değerlerinin toplamının çıkarılması ile elde edilmektedir. Bu işlem resmin bir tarafından en büyük halinden başlayarak interaktif olarak çerçeveler küçültülerek tüm resim defalarca taranmak suretiyle yapılmaktadır. Taranma sonucu oluşan skorlar, adaboost sınıflandırıcısı için özellikler olacaktır. Adaboost sınıflandırıcısı farklı boyutta çerçevelerde gezecek ve olumlu dönüş yaptığı noktanın aranılan nesne olduğuna hükmedecektir. Siyah bölgelerinden beyaz

bölgelerin resim üzerinde denk geldiği bölgelerin toplamının çıkarıldığı çerçeveler aşağıdaki gibidir:



Şekil 3. 6 Haarcascade sınıflandırıcı özellikleri

Bu çerçeveler her bir olası yüz resmi için küçültülerek resimlerde dolaştırılır ve şekil 3.7’de burun üzerine denk gelen çerçeve örneğinde olduğu gibi bazı özellikler bazı bölgelerde oldukça yüksek skor verecektir.

Şekil 3.7’de yanak bölgelerin beyazlık değerinin oldukça yüksek olması, burun bölgesinin daha fazla karanlık olması ve oluşturulan fark yapay zekâ algoritması adaboost için kullanılabilir bir örnek olmaktadır.

Şekil 3.8’de de yatay olarak gezdirilen yukarıdaki özelliğin nasıl karşılık bulduğu gösterilmiştir. Göz bölgesi daha karanlık, alt bölgeler daha aydınlık olacağından dolayı bu çerçeve bu bölge için oldukça iyi sonuç verecektir.

Göz bölmesinin altında bulunan beyaz ile gösterilen diğer bölmeden daha karanlık olması sadece bir özelliktir. Haarcascade sınıflandırıcısı için bunun gibi birçok özellik, bir araya gelerek güçlü sınıflandırıcıyı oluşturmaktadır. Örnek bir problem düşünülürse yüzün haarcascade özellikleri ile taranmasında ağız, burun, dudak gibi birçok bölgede bu özelliklerden bazısının gözlenmesi mümkündür. Ve bu özellikler küçültülerek tekrar bu bölgelerden geçirilerek interaktif olarak devam ettirilmektedir.



Şekil 3. 7 Sınırlandırıcı özellikleri uygulanması (wikipedi.org)



Şekil 3. 8 Sınırlandırıcı özellikleri uygulanması (wikipedi.org)

Bu tek tek piksellerin toplamlarının hesaplanması, sıralı olarak bu işlemlerin sürekli devam etmesi bilgisayar için oldukça yorucudur. Bu noktada haarcascade yöntemini geliştirenlerin bir çözümü bulunmaktadır. Resmin integrali alınarak köşe koordinatlar üzerinden dört işlem yapılarak bütün piksellerin toplamları sonucu elde edilebilmektedir. Bu durum da büyük oranda işlem avantajı sağlamaktadır.

Ayrıca nesnelerin bulunma noktasında daha önceki aşamalarda büyük nesnelerin bulunmadığı noktalarda kendisinden daha küçük nesnelerin aranmaması, haarcascade'ın yapması gereken yüzbinlerce işlem yükünden işlemcileri kurtarmaktadır. Böylelikle daha hızlı ve seri bir şekilde nesnelerin bulunduğu söylene de bilgisayarların gelişmiş olmasına karşın bu işlemlerin işlemciler, bilgisayarlar üzerinde belli bir yük ve yavaşlatmaya sebep olduğu görünmektedir. Onun için bu işlemler direkt olarak büyük resimlere uygulanmak yerine "resize" edilerek ve ten rengi algılanması gibi foreground

kısmı odaklanılarak optimize edilmelidir. Bu şekilde optimize edildiğinde raspberry pi 3 gibi bir donanımda donmadan bu sınıflandırıcı çalışabilmektedir.

İçinde aranılan nesnenin bulunduğu pozitif resimler, background olarak düşünebileceğimiz içinde aranılan nesnelerin bulunmadığı negatif resimler üzerinden geçirilerek işlemlere sokulmaktadır.

Nesnelerin eğitimleri esnasında, sınıflandırıcının hassasiyetini belirlemek amacıyla geliştirilmiş; “min hit rate” ve “max false alarm rate” değerleri vardır. Sınıflandırıcı, her bir stage değerinde bu değerlere ulaşmaya çalışır, eğitimine bu değerleri referans alır. “Min hit rate” minimum isabet oranını ve “max false alarm rate” ise hatalı olarak gösterilecek hedeflere ne kadar izin verileceğini ifade etmektedir.

Eğitim sonunda opencv kütüphanesi için bir xml dosyası oluşturulur. Bu xml dosyası eğitilmiş objeleri tanıma noktasında kullanılır [44].

3.3.2.2 Haar Cascade Sınıflandırıcı Eğitimi

Bu sınıflandırıcısının eğitimi için pozitif ve negatif örnekler ihtiyacı duyulmaktadır. Pozitif örnekler içinde aranılan nesnenin bulunduğu örneklerdir. Negatif örnekler ise içinde aranılan nesnenin olmadığı ve aranılan nesnenin içinde bulunabileceği potansiyel arka plan resimlerinden oluşmalıdır. Başarılı bir sınıflandırıcı olması için çok sayıda pozitif ve negatif resme ihtiyaç vardır. Ancak az örnekle de sınıflandırıcı oluşturulabilir. Örneklerin fazla olması başarı oranını artırır ancak çok fazla olması da sınıflandırıcının başarısını olumsuz yönde etkileyebilir.

3.3.2.3 El Algılama

El algılama için yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. El algılama işleminin çeşitli çevresel kısıtları bulunmaktadır. El algılama yöntemlerinden biri ten rengi ile algılama şeklindedir. Ten rengi uzun süreler en çok kullanılan yöntemlerden olmasına karşın ten rengine benzer renklerin bulunması durumunda hatalı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu durumun sebepleri; arka planın çok karmaşık olması, farklı renk ve ışık koşullarında algılanmanın yapılmasıdır.

Bir diğerk yöntem ise hareket takibi yöntemi ile elin tespiti olmaktadır. Bu konuda da çalışmalar olmakla beraber çok sağlıklı sonuçlar alınamamaktadır. Çünkü bu yöntemde arka planda başka hareketlerin olması, kameranın hareketli olması veya el yerine başka bir şeyin hareketinin el hareketi gibi algılanması gibi problemler bulunmaktadır.

El algılamada kullanılan başka bir yöntem ise arka plan çıkarma yöntemidir [70]. Bu yöntemde belli bir süre boyunca arka plan toplanır ve son gelen frame ortalama olarak alınan arka plandan çıkarılır ve sonuçlar analiz edilir. Burada hareketli kısımda mantıksal filtrelemeler yapılarak el bulunabilir. Ancak bu çözümün de dezavantajları vardır. Şöyle ki arka planda elden başka hareketlilikler olabilir. Elin kameraya yaklaşıp uzaklaşması kameraya düşen ışık miktarını değiştireceğinden görüntünün aydınlığını değiştirdiğinden tüm her tarafı hareket olarak algılama sorunu çıkmaktadır.

Son zamanlarda en çok kullanılan en etkili yöntemlerden biri de gri renk skalasındaki resimlerde daha öncesinden eğitilmiş sınıflandırıcılar yardımı ile elin tespit edilmeye çalışılmasıdır. Haarcascade, bu yöntemlerden biridir ve el tanıma konusunda oldukça başarılı sonuçlar çıkarmaktadır.

3.3.3 Takip

Hareketli bir görüntüde renk, hareket, kenar gibi özellikler kullanılarak takip işlemi yapılmaktadır [71].

Her frame için haarcascade gibi bir yöntem kullanmak, kullanılan donanımın sınırlarını aşmaktadır. Bu bakımdan bulunan nesnenin takip edilmesi için farklı bir yöntem uygulanması gerekmektedir. Bir nesne algılandıktan sonra bir başka frame'deki yeri de algılanarak arasındaki farka bakılarak nereye hareket ettiği sonucuna ulaşılabilir. Görüntü işlemede komşu kenarların benzerlik bilgileri kullanılarak bir noktanın bir sonraki frame'de nereye gittiği bulunabilmektedir.

3.3.3.1 Lucas Kanade Algoritması

Lucas Kanade algoritması 1981 yılında Lucas and Canade tarafından geliştirilmiş, resim hizalama, hareket takibi gibi problemlere çözüm getirmektedir. Resim hizalama konusunda oldukça fazla kullanılmaktadır. Lucas Kanade algoritması nokta akışı olarak

ya da hareketli bir resimde $t = 1$ anından sonra noktanın $t = 2$ anındaki yerinin tespiti için kullanılmaktadır [72].

Lucas Kanade algoritması, resim hizalamak için doğrulan kullanılan bir yöntemdir [73]. Lucas Kanade algoritması takip için kullanılmış ve başarılı bir algoritmadır. Bu algoritma bir noktanın çevresindeki komşu noktalara göre konumunu hesaplayarak bu benzerlikten bir sonraki framede bu noktanın nerede bulunduğunu takip etmektedir. Bu yöntemin bir dezavantajı ise noktanın kaçmasıdır.

Resmin belli bir yerinin belli oranda kaydırılarak bir sonraki frameden çıkarılması ve minimum hata oranına göre yapılan hesaplamaların ardından noktanın bir sonraki framedeki yeri tespit edilebilmektedir [72].

3.4 Gerçek Zamanlı Görüntü İşleme Uygulamaları

Bir işlemci; standart ve VGA denilen çok düşük çözünürlükteki $640*480*3$ piksellik bir görüntüde dahi resmin parlaklığında küçük bir değişim 921600 pikselin değerleri yerine yeni değerleri getirmek, değiştirmek zorundadır. Bu durumun yanında filtreler, bu görüntüler üzerinde gezdirilen daha küçük çerçeveler olduğu ve her bir piksel değerinde kaydırılarak bu işlemlerin üst üste yapılması gerektiği için çok daha fazla işlem hacmi oluşacaktır. Filtreler görüntü işlemenin en fazla kullanılan araçları olarak yer almaktadır. Birçok görüntü işleme probleminin çözümü filtrelerden geçmektedir. Gerçek zamanlı olmayan normal bir videodan resim işleneceğinde istenilen herhangi bir zaman kısıtlaması olmadığı için bu resmin işlenmesi kısmında herhangi bir problem oluşmayacaktır. Gerçek zamanlı (Real Time) görüntü işlemede ise görüntü işlendikten sonra belli bir zaman sınırı içinde işlenmiş resim ya da bilgi karşı tarafa sunulmalıdır. Eğer bu kısıtlar üzerinde sunulamazsa görüntülerde buzlanma, veri kaybı gibi büyük problemler oluşabilmektedir. Dolayısıyla bu tür durumda görüntü işleme işlemleri yapmanın mantığı kalmamaktadır. Gerçek zamanlı görüntü işleme, anlık olarak alınan görüntüler çok kısa sürede işlenerek yine kısa süre içerisinde kullanıcıya sunulmasıdır. Bu işlem göze akıcı gelen bir akış içinde yapılmalıdır.

YÖNTEM VE UYGULAMA

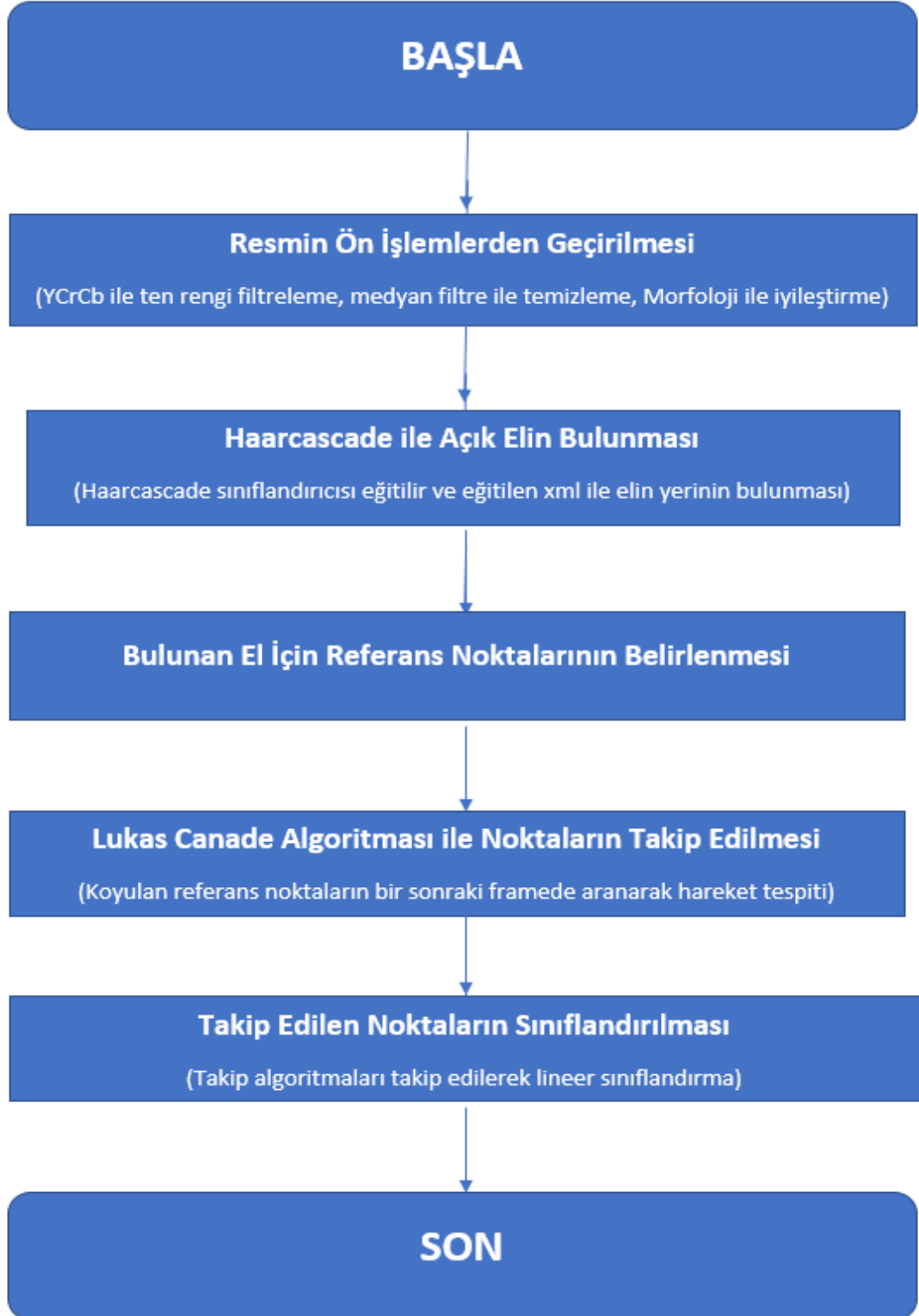
4.1 Yöntem

Resmin ön işlemler ile iyileştirilmesi, kırılması, haarcascade ile elin yerinin tespit edilmesi, bulunan elin belirli noktalarına referans noktaları konulması, Lucas Kanade algoritması ile noktaların takibi yapılmıştır. Ayrıca algoritmayla takip edilen noktaların sınıflandırılma adımları uygulanmıştır.

Anlatılan yöntemlerin akış şeması Şekil 4.1 'deki gibidir.

Çalışmada Web kamerası raspberry pi 3 donanımları kullanılmıştır. Web kamerası üzerinden elde edilen görüntüler Raspberry pi 3 işlemcisi ile görüntü işlemeye tabi tutulmuştur. Uygulanan algoritmalar için işlemlerin azaltılması ve resmin “detection” için uygun hale getirilmesi için bazı ön işlemler yapılmıştır. Bu ön işlemler resmin daha küçük olacak şekilde yeniden boyutlandırılması, YCrCb renk uzayına göre ten rengi olan yerlerin bulunarak kırılması, morfolojik açma kapama işlemleri uygulanması, medyan filtre ile karabiber tuz görüntüsünün giderilmesi gibi işlemlerdir.

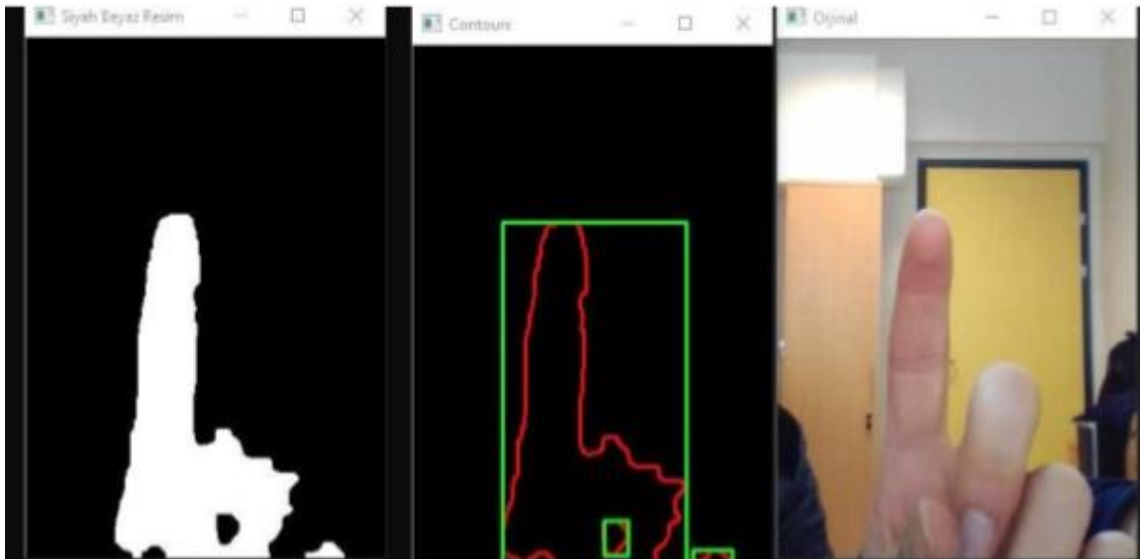
Ten renginin ayrılarak ten ile alakası olmayan arka plandan ayrılabilmesi için laboratuvar ortamında üretilen renk uzaylarından YCrCb kullanılmıştır. Bu renk uzayı, ten renk uzayının en iyi tespit edilebildiği renk uzayıdır. Bu konuda birçok farklı ten renginde kişiden el resmi toplanmış olup farklı renk uzaylarına göre analizler yapılmış ve ten renginin en iyi tespit edildiği renk uzayı YCrCb olarak bulunarak bu renk uzayı ile ten rengine sahip bölgeler arka plandan ayrılarak resimde elin bulunacağı kısımlar küçültülmüştür.



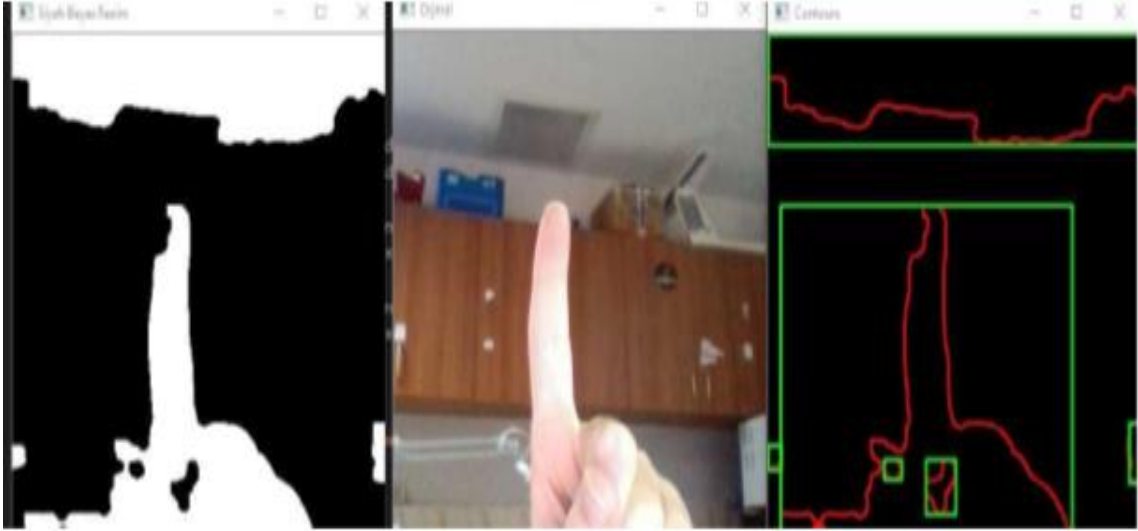
Şekil 4.1 Akış Şeması

Ten rengi olan yerlerin filtrelenmesi, Resimdeki her bir piksel için YCrCb değerlerini filtreden geçirerek ten rengine yakın piksellerin beyaz, geri kalan piksellerin siyah olacağı Şekilde bir işlem yapmaktır. Kalan görüntüde morfolojik kapama ve sonrasında açma yapılmıştır. Olası kopmalar düzeltilmektedir. Ten rengi olan yerler konturlanarak yani çevresi etrafı çizilerek kırılır ve algılama algoritması olan haarcascade sadece bu kısımlarda çalıŐtırılmaktadır.

Bu alıŐma için farklı ten rengineki 30 kişiden ten rengi içeren resimler toplanmış bu görüntülerin ten rengine yakın backgroundlarda toplanması konusuna dikkat edilmiştir. Bu resimler RGB, HSV ve YCrCb renk uzaylarında ayrı ayrı incelenmiŐtir. RGB renk uzayında yapılan incelemede 30 resimden maksimum 25 resimdeki ten rengi bulunabilmiŐ, bu oran HSV renk uzayı için 27 ye ıkarılabilmemiŐtir. YCrCb renk uzayında ise 30 resimden tamamının bir miktar gürültü ile beraber bulunabildiği gözlemlenmiŐtir. Bu gürültüler filtrelerle temizlenebileceği ve önemli olan kısmın elin içinde olduğu halde resmin kltlmesi olduğu için YCrCb renk uzayı ten rengi ile resmi kltme konusunda diğer renk uzaylarına tercih edilmiştir. Bu ten renklerinin YCrCb renk uzayı için, maksimum hangi aralıklarda oluŐturulabildięi üzerine renk skalası ile oynanarak denenmiş ve optimum renk aralığı bulunmaya çalışılmıştır. Toplanan rnekler Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2 Toplanan ten renginin tespit edilmesi



Şekil 4. 3 Toplanan ten renginin tespit edilmesi

Elde edilen sonuçlara göre optimum arka planı ayırabileceğimiz Y Cr Cb aralıkları şu şekildedir:

- Ymin=100
- Ymax=250
- Crmin=133
- Crmax=255
- Crmin=0
- Crmax=160

Resmin algılama ve takibe daha uygun hale getirilmesi aşamasında yapılan işlemler sonucu oluşabilecek parmaklarda kopma ihtimaline karşılık kapama (closing) uygulanmıştır. Bu işlemlerden medyan filtre bazı noktaları silebilmekte ve arka plana benzetebilmektedir. Bunun yanında YCrCb dönüşümü de ışığın yansımından ya da başka sebeplerle elin bir kısmını seçemeyebilir ve elin bir kısmı kesik görünebilir. Bu durumda standart bir morfolojik çekirdek gezdirmek, bu kopuklukların giderilmesinde kullanılmaktadır.

Elin tanınması için birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan bazılarında LBP(Local Binary Pattern), Wavelet transformu ile özellik çıkarılması, Haarcascade gibi yöntemler örnek

verilebilir. Bu yöntemlerden LBP ve Wawelet denenmiş ancak istenilen başarıya ulaşamamıştır. LBP elin farklı varyasyonlarının bulunmasında başarısız olmuş, Wawelet ise bazı oda koşulları için başarısız olmuştur. Bunlar arasından haarcascade yöntemi hem elin farklı varyasyonları için hem de farklı oda koşulları için en başarılı sonuçları verdiği için haarcascade yöntemi seçilmiştir. Haarcascade yönteminin başarı oranları Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Elin tanınması aşamasında, haarcascade eğitimi yapılarak xml dosyası oluşturulmuş, sonrasında ise bu xml dosyası kullanılarak avuç içlerinin nerede olduğu tespit edilmiştir.

Haarcascade Sınıflandırıcısının efektif ve başarılı olabilmesi için 2000 ile 4000 arası pozitif resim bulundurulması genel olarak iyi başarılar sağlayacaktır. Bunun yanında da negatif örnek sayısının 1000 civarlarında olması yetmektedir. Ancak bunun daha azıyla da iyi bir sınıflandırıcı yapmak mümkündür.

Çizelge 4. 1 Haarcascade Sınıflandırıcı Sonuçları

Pozitif Örnek Sayısı	Negatif Örnek Sayısı	Min Hit Rate	Max False Alarm Rate	Doğruluk	False Alarm
1700	420	0.9	0.5	%85	%22
1700	420	0.95	0.25	%87	%21
3400	845	0.9	0.5	%91	%17
3400	845	0.95	0.25	%93	%14

Bu çalışma için farklı ten renklerinde ellerden 3400 adet el resmi toplanmıştır. Bu el resimlerin tamamı işaretlenmiş ve 845 adet de içinde el resminin olmadığı background resmi toplanmıştır. Toplanan örnekler ile öncelikle lokal binary pattern ile el tespit edilmeye çalışılmış, ancak başarı oranı yüzde 70’lerde kalabilmiştir. Bu resimlerden 100 tanesi, Wawelet transformu ile özellikler çıkarılarak el tespiti yapılmış ancak yarısında elin nerde olduğu tespit edilebilmiştir. Bu toplanılan resimler haarcascade yöntemi için farklı farklı parametrelerle eğitilerek birkaç farklı ten renginden örnekler toplanarak test edilmiş ve en iyi sonuçlar bu yöntemde elde edilmiştir.

Örnek sayılara göre farklı parametrelerle alınan sonuçlar Çizelge 4.1'deki gibidir. Bu problemin çözümü için de 3400 örneğin tamamı kullanılmış, 845 adet de negatif örnek kullanılmıştır. Min hit rate olarak 0.95 seçilmiş, max false alarm rate değeri olarak da 0.25 seçilerek iyi bir başarı elde edilmiştir.

Noktaların takip edilmesi ya da her frame için haarcascade ile detectionun yapılarak hareketin tespit edilmesi mümkündür. Her frame için detection işleminin yapılması donanım üzerine daha yüksek yük olacağından bu yöntem seçilmemiştir. Bunun yerine meanshift, camshift, Lukas Kanade gibi algoritmalar ile noktanın takip edilmesi hedeflenmiştir. Meanshift ve camshit algoritmaları ten renginin üstündeki noktaların takibi için noktaların kaçırılmasına sebep olmuştur. Meanshift ile yapılan denemelerde el üstüne konulan noktaların 50 hareket için 30 unda kaçtığı gözlenmiş, bu oran Camshift için 35 olarak elde edilmiştir. Lucas Kanade algoritmasında ise birden çok nokta koyulmuş ve ortalama koordinat takibi, 50 hareketin 49 tanesinde noktaların kaçmadan sağlanabilmiştir. Ten rengi üstündeki noktaların optimum takip edildiği algoritma Lucas Kanade olmuştur. Bu sebeple bu algoritma kullanılmış ve her ihtimale karşı takip işlemi birden çok noktaya yaptırılarak noktaların ortalamaları alınmıştır.

Haarcascade ile elin avuç içi tanınmaktadır. Bulunan avuç içinde en ortası, ortanın belli bir miktar sağı, solu, üstü, altı gibi referans noktalar işaretlenmektedir. İşaretlenen noktalar açık elde parmakların aralarına denk getirilmemektedir. Bu noktalar takip algoritması için kullanılacak Lucas Kanade algoritması için kullanılmaktadır.

El tanıma işleminden sonra Lucas Kanade algoritması ile noktalar takip edilmiştir. Bu takip sırasında, renklerin benzerliği sebebiyle noktalar kaçabilmektedir. Bu problemin çözümü için de el üzerine birçok nokta konulmuş ve bu noktaların ortalaması takip edilmiştir.

Lucas Kanade algoritması 1981 yılında Lucas ve Kanade tarafından geliştirilmiş, resim hizalama, hareket takibi gibi problemlere çözüm getirmektedir. Resim hizalama konusunda oldukça fazla kullanılmaktadır. Lucas Kanade algoritması nokta akışı olarak ya da hareketli bir resimde $t = 1$ anından sonra noktanın $t = 2$ anındaki yerinin tespiti için kullanılmaktadır [73].

Resmin belli bir yerinin belli oranda kaydırılarak bir sonraki frameden çıkarılması ve minimum hata oranına göre yapılan hesaplamaların ardından noktanın bir sonraki framedeki yeri tespit edilebilmektedir [73].

İstenilen hareketler için lineer olarak sınıflandırılmak istenen hareketlerin nasıl farklılıklar oluşturdukları analiz edilmiştir. Analiz sonucu, hareketler bilgisayara tanıtılmış, takip algoritması ile o hareketler yapıldığı takdirde sonuç üretilmiştir. Bu çalışma için yukarı, aşağı, sağa, sola hareketler tanıtılmıştır. Bu hareketler için başarılı bir şekilde pinler kontrol edilmektedir.

Lucas Kanade ile algılanan hareketler, belli sınırlar çerçevesinde sınıflandırılmıştır. Bu problem sınıflandırma aşamasında lineer yöntemler kullanılmıştır.

Takip edilen noktalar bulunduktan sonra bu takip sonucunda hareketin ne olduğunu tespit için sınıflandırma yapılmaktadır. Literatürde bu kısım kimi yerlerde yapay zekâ tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle yapılmıştır. Ancak lineer yöntemlerle bu çalışmada başarılı olunabileceği görülmüştür. Ve lineer yöntemler başarı gösterirken yapay zekâ kullanmak maliyet açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Bu çalışmada lineer yöntemler ile hareketler sınıflandırılmıştır.

Lucas Kanade algoritmasından alınan referans noktaların nerede oldukları kontrol edilir ve x ve y koordinatlarında x için 0 ve 640, y için 0 ve 480 piksele denk gelen noktalar dahil edilmeden x ve y koordinatlarındaki ortalama koordinat değerleri hesaplanmıştır. Ortalaması hesaplanan koordinatların nereye doğru hareket ettiğinin tespiti için özel yöntemler geliştirilmiştir. Amaç, yukarı, aşağı, sağa, sola, üst sol çapraz, üst sağ çapraz, alt sol çapraz, alt sağ çapraz hareketlerin küçük bir birimde birbirlerinden ayrılabilmesidir. Bu aşamadan sonra bu küçük hareketlerin birbirleri ile birleşmesi sonucu hareketin sınıflandırılması sonucu elde edilebilecektir. Örneğin başka hiçbir hareket elde edilmeden 5 defa yukarı küçük hareket yukarı hareket edildiğinin göstergesidir. Bu küçük küçük hareketlerin istenildiği gibi birleştirilmesi ile birçok hareket tespiti yapılmaktadır.

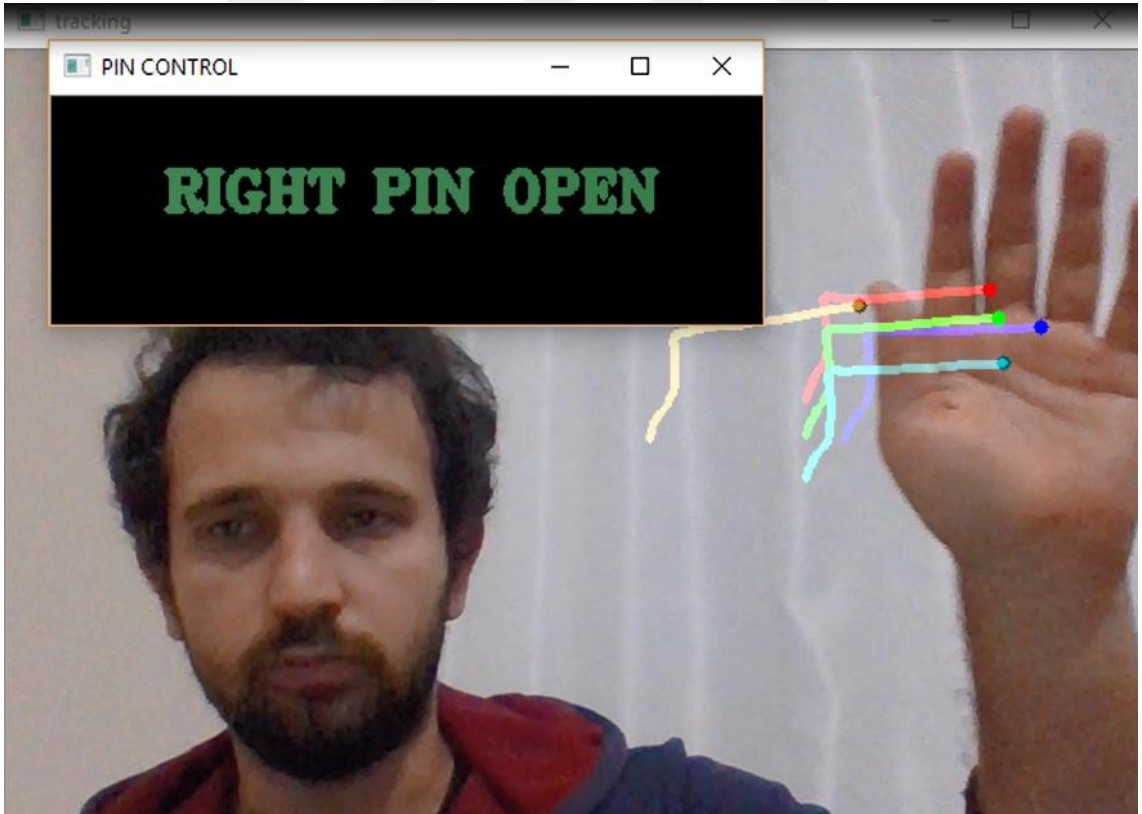
Hareketin ne olduğunun sınıflandırılması için ise lineer yöntemler kullanılmıştır. Literatürde yapay zeka algoritmaları kullanılarak da çözümler mümkün olmuştur. Ancak küçük hareketlerin birleştirilmeleri sonucu ile hareketlerin tespiti mümkün olduğu için

ve yapay zeka algoritmalarına göre daha az işlem maliyetine sahip olduğu için lineer yöntemler ile sınıflandırma sağlanmıştır.

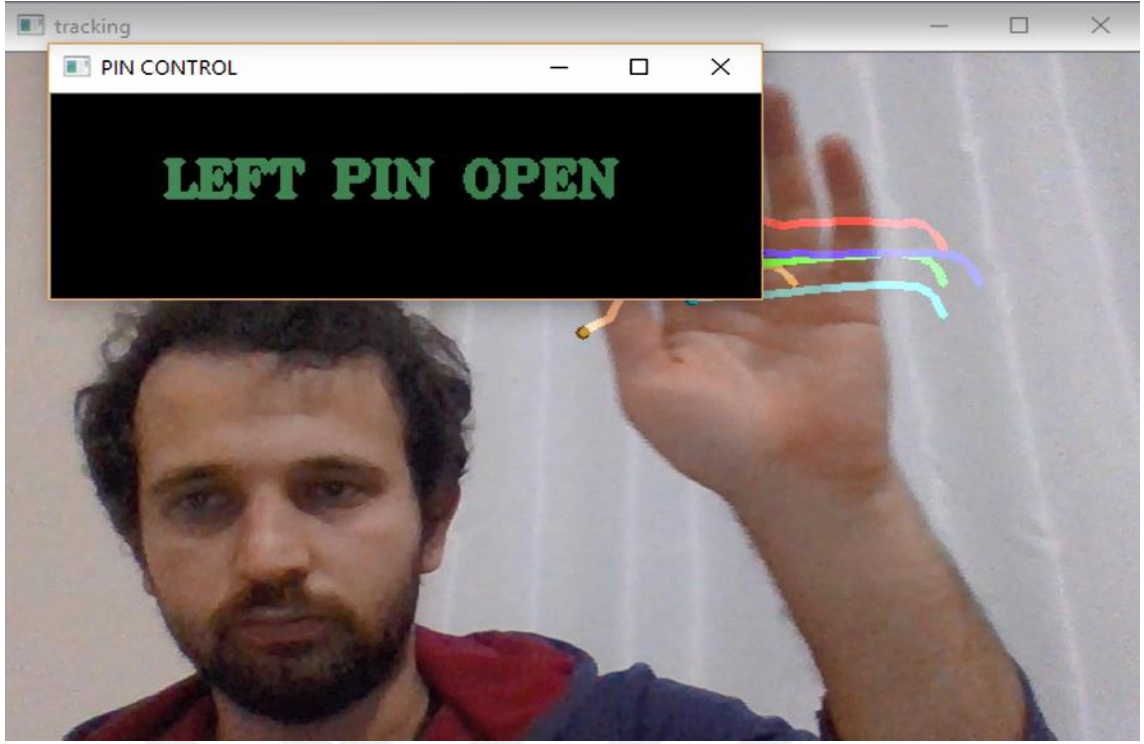
Çalışmada amaçlanan sistemde raspberry pi işlemcisinin kameradan aldığı görüntüde olabildiğinde hızlı bir şekilde eli tanınması ve sonrası için tanıdığı eli takip ederek anlık olarak raspberry pi çıkış pinlerinde değişiklik oluşturmaktadır.

Yapılan çalışma, farklı ortamlarda, farklı ışık ve hava koşullarında denenmiş ve başarı oranları aşağıdaki gibi tablo halinde sunulmuştur. Bu proje, resimden anlamlı veriler çıkarmak üzerine olduğu için projenin çalışma kısıtı, çok fazla karmaşık olmayan bir arka planda yapılmasıdır.

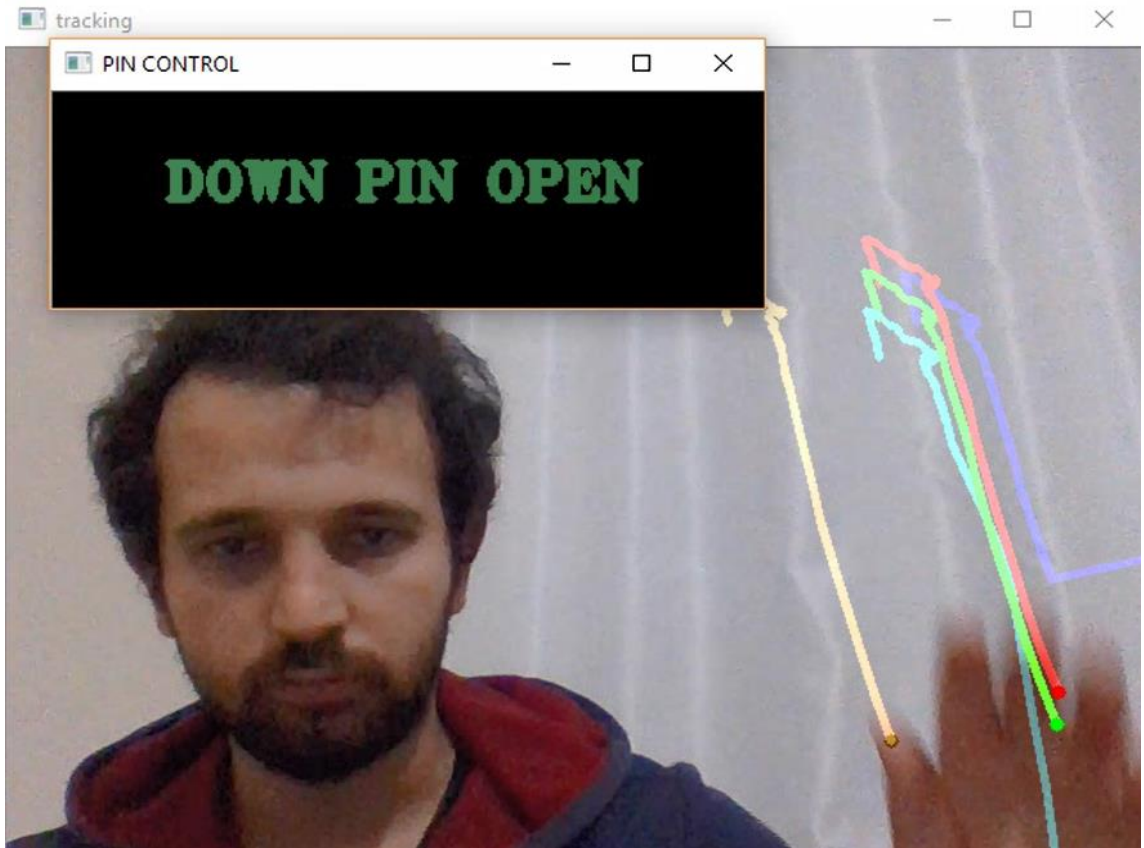
Deneyler her koşul için farklı kişilerce 100 defa sağa sola, yukarı aşağı hareketin tespitinin denenmesi sonrası başarı oranlarının ortalaması alınarak elde edilmiştir. Deneyler, kamera ile 50 cm ile 150 cm arası mesafelerde gerçekleştirilmiştir. Bu sayılar ile benzer ürünlerden daha uzaklardan başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



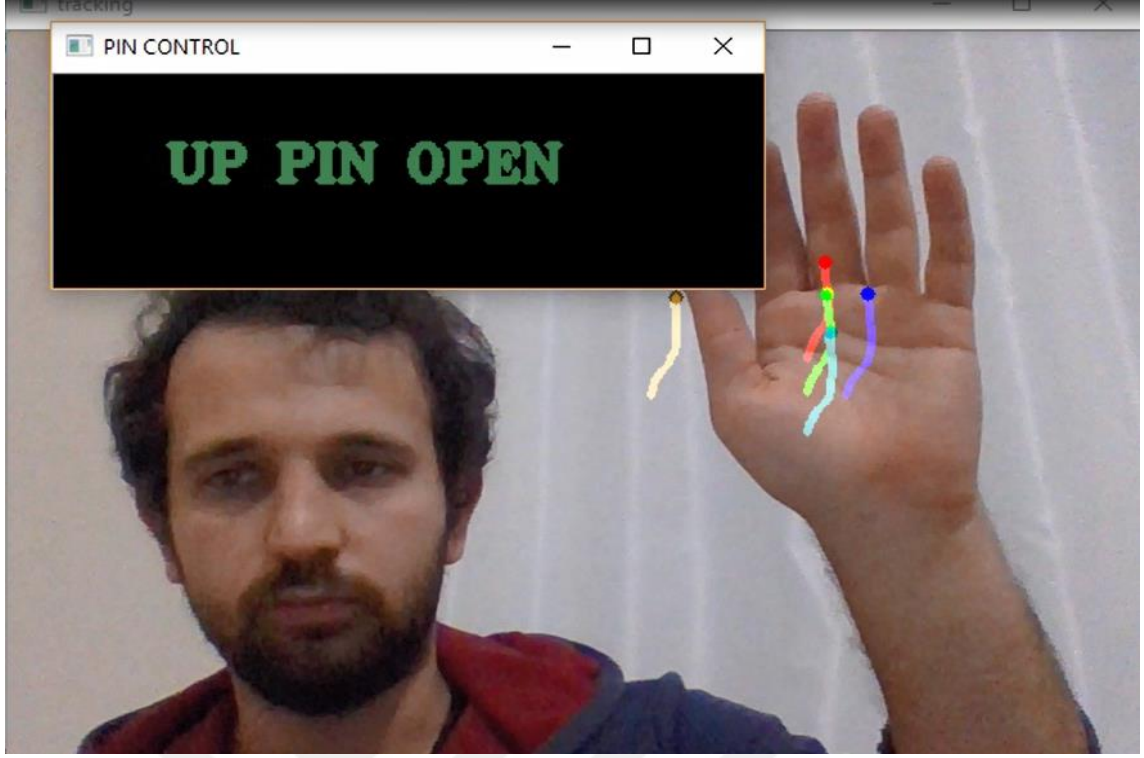
Şekil 4.4 Sağa Hareket Tespiti



Şekil 4. 5 Sola Hareket Tespiti



Şekil 4. 6 Aşağı Hareket Tespiti



Şekil 4. 7 Yukarı Hareket Tespiti

Video kamera her frame'i yaklaşık olarak 1 sn'nin 30 da biri kadar sürede almaktadır. El tespit edilme ve tespit edilen elin hareketinin takip edilmesi 5 6 frame arasında yapılmaktadır. El hareketi tespiti çıplak gözle yakalanmayacak kadar hızlı tespit edilmektedir ancak bu tespit, frame bazında yapıldığı için ortalama olarak 166 ms – 200 ms arasında yapılmaktadır.

Çizelge 4. 2 Sensör Başarı Sonuçları

Koşul	Başarı Oranı (%)	Ortalama hareket tespit süresi
Sabah Güneş ışığında (ortalama ışık)	98.3	200 ms
Öğlen Güneş ışığında (yüksek ışık)	99.1	200 ms
Gün batımı güneş ışığında (düşük ışık)	96.3	200 ms
Gün batımı oda ışığında	97	200 ms
Gece oda ışığında	96.4	200 ms
Ortalama Başarı	97.4	
Literatürdeki Çalışmalar 1 [1]	93.2	-
Literatürdeki çalışmalar 2 [2]	96.6	-

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuç

Bu çalışmada, el hareketlerinin algılanarak çıkış pinlerinin planlanan şekilde değiştirilmesi hedeflenmiş olup, kamera ile elde edilen görüntüde avuç içi algılanarak hareket tespit edilmeye başlanmıştır. Tespit edilen hareket ise daha önceden belirlenmiş sınırlar çerçevesinde sınıflandırılarak raspberry pi 3 donanımının çıkış pinleri aktifleştirilmiştir.

Bu çalışma için amaçlanan insan makine haberleşmesinin daha konforlu ve daha kolay yapılması amacıyla bu çıktı ile ulaşmak mümkündür. Şöyle ki elde edilen hareketlerden değiştirilen çıkış pinleri standartlaştırılırsa bu pinler bütün elektronik cihazlarda kullanılarak televizyonların, klimaların, bilgisayarların, elektronik kapı ve giriş sistemlerinin, ses sistemlerinin, akıllı ev sistemlerinin ve daha birçok elektronik cihazların kontrolü bu cihazın kullanımı ile sağlanabilecektir.

Bütün elektronik cihazlara sensör olabilecek bir cihazın güç tüketimi, ekipmanın sektörde kullanılması açısından da çok önemlidir. Donanımın çalıştırılıp testleri yapılmış ve yazılan kodlar raspberry pi 3 üzerinde çalışırken yaklaşık olarak yüzde 35 – 45 arası işlemciyi kullanmaktadır. Raspberry pi 3'ün bu şartlardaki mA çekimi 400 mA civarındadır. 5 V ile besleme olduğu için saatte 2W civarında güç tüketimi ile çözüm elde edilmektedir.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada insanın en çok hareket ettirdiği organlarından el üzerine durularak elektronik cihazların kontrol edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ve bu hareketlerin bir cihaza göre değil bütün cihazları kontrol edebilecek şekilde sensör çıktısı verilebileceği işlenmiştir. Piyasadaki benzerlerine göre daha kolay ve maliyet olarak daha uygun bir çözüm geliştirilmiştir.

Ayrıca bu çalışma, konuşma engellilerle iletişimde çığır açacak cihazlara köprü kurabilir. Giyilebilir teknolojide kullanımı açısından bakacak olursak bu teknoloji ile uzaktan piyano çalmak gibi bazı enstrümanların kullanımı ve pratik yapılması mümkün hale gelebilmektedir.

5.3 Tartışma

Resmin iyileştirilmesi için, karabiber tuz denilen gürültülerin azaltılması için kullanılacak birçok filtre mevcuttur. Hatta bu çalışmada kullanılan medyan filtresinden çok daha gelişmiş olan bileteral filtre olmasına karşın işlem maliyetinin yüksek olması sebebi ile tercih edilmemiştir. Ve aynı zamanda morfolojik işlemlerle de bu probleme çözüm getirilebilecekken aynı sebeple filtre yerine tercih edilmemiştir. Bilateral filtreleme ilginç bir kavramdır ve performansı bir medyan filtresinden çok daha iyidir. Bilateral filtrelemenin iyi tarafı, kenarları koruduğu, medyan filtresinin ise her şeyi eşit bir şekilde düzleştirdiği yönündedir.

Bu çalışmada en çok referans alınan ve elin tanınması için HOG yöntemine göre daha uygun olan Haarcascade yöntemi seçilmiştir. Çünkü HOG yöntemi resmin gradyanını alarak kenar tespitinde bulunurken haarcascade elin aslında bulunan parlaklık aydınlık oranlarını incelemektedir. El farklı konumlarda tutulduğunda HOG transformu başarısız olmaktadır.

Karmaşık ve uzun görüntü işleme algoritmaları, belli başlı araçlar tarafından hazır tool olarak sunulurken kolayca uygulanabilir hale getirilmiştir. Bazı araçlar vardır ki bunlar; arkasında büyük ekiplerin çalıştığı ve amaçları görüntü işleme yapacaklara büyük kolaylıklar sağlamak olan ücretsiz araçlardır. Bu araçlara opencv ve openframework

örnek olarak gösterilebilir. Bu araçlar C, C++ gibi makine diline yakın dillerle de kullanılabilir. Böylelikle hızlı ve kolay bir çalışma ile görüntü işleme yapmak mümkün olmaktadır. Bununla beraber ticari olarak Matlab programının görüntü işlemeyi kolaylıkla yapabilecekleri Görüntü işleme aracı mevcuttur. Ancak ücretsiz olması ve C++ ile kullanılabilir olması sebebiyle proje için C++ dili seçilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] L.-K. Lee, S.-Y. An, and S.-Y. Oh, "Robust fingertip extraction with improved skin color segmentation for finger gesture recognition in Human-robot interaction," in 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Brisbane, QLD, Australia, June 10-15, 2012, pp. 1-7.
- [2] M. Taşkıran, (2016). İverter klima akıllı etkileşim sistem tasarımı , Yüksek Lisans Tezi , YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] A. Kurakin, Z. Zhang, and Z. Liu, "A real time system for dynamic hand gesture recognition with a depth sensor," in 2012 Proceedings of the 20th European signal processing conference (EUSIPCO), Bucharest, Romania, Aug. 27-31, 2012, pp. 1975-1979.
- [4] V. Frati and D. Prattichizzo, "Using Kinect for hand tracking and rendering in wearable haptics," in 2011 IEEE World Haptics Conference, Istanbul, Turkey, June 21-24, 2011, pp. 317-321.
- [5] R. Stiefelhagen, C. Fugen, R. Gieselmann, H. Holzapfel, K. Nickel, and A. Waibel, "Natural human-robot interaction using speech, head pose and gestures," in 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566), Sept. 28- Oct.2, 2004, pp. 2422-2427.
- [6] S. Waldherr, R. Romero, and S. Thrun, "A gesture based interface for human-robot interaction," Autonomous Robots, vol. 9, no. 2, 2000, pp. 151-173.
- [7] F. A. Bertsch and V. V. Hafner, "Real-time dynamic visual gesture recognition in human-robot interaction," in 2009 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Dec. 7-10, 2009, pp. 447-453.
- [8] H. M. Harcourt and D. Brace, (2013). The American heritage dictionary of the English language, Third Edition, p. 2016.
- [9] E. R. Fossum, "CMOS image sensors: Electronic camera-on-a-chip," IEEE transactions on electron devices, vol. 44, no. 10, 1995, pp. 1689-1698.

- [10] A. F. Işık, (2013). Robotik Alanda Kullanılan Sensörler Ve Fsr Sensör Uygulaması , Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Balıkesir Üniversitesi, 2013, Balıkesir.
- [11] I. V. Minin and O. V. Minin, (June 9th 2011). Diffractive Optics Microsensors, Microsensors, IntechOpen, DOI: 10.5772/25256. Available: <https://www.intechopen.com/books/microsensors/diffractive-optics-microsensors>.
- [12] Sensors and Transducers , https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_1.html, 16 Ocak 2019
- [13] Willard Boyle & George Smith Develop the CCD, a Sensor for Recording Images , <http://www.historyofinformation.com/detail.php?id=877> , 23 Şubat 2019
- [14] D. Litwiller, "Ccd vs. cmos," Photonics Spectra, vol. 35, no. 1, 2001, pp. 154-158.
- [15] A. Luştica, "CCD and CMOS image sensors in new HD cameras," in Proceedings ELMAR-2011, Zadar, Croatia, Sept. 14-16, 2011, pp. 133-136.
- [16] A. El Gamal and H. Eltoukhy, "CMOS image sensors," IEEE Circuits and Devices Magazine, vol. 21, no. 3, 2005, pp. 6-20.
- [17] S. A. Taylor, "CCD and CMOS imaging array technologies: technology review," Xerox Research Centre Europe, 1998.
- [18] P. Trivedi and R. P. Tripathi, "Design & analysis of 16 bit RISC processor using low power pipelining," in International Conference on Computing, Communication & Automation, Noida, India, May 15-16, 2015, pp. 1294-1297.
- [19] J. Chen, "Analysis of Moore's Law on Intel processors," in Proceedings of the 2013 International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation (EITRT2013)-Volume II, 2014: Springer, pp. 391-400.
- [20] Bilişim Teknolojileri İşlemciler (CPU), [http://www.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/054003/%C4%B0%C5%9Flemciler%20\(cpu\).pdf](http://www.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/054003/%C4%B0%C5%9Flemciler%20(cpu).pdf) , 10 Mart 2019
- [21] D. Schor, Hot Chips 30: Nvidia Xavier SoC, <https://fuse.wikichip.org/news/1618/hot-chips-30-nvidia-xavier-soc/> , 11 Ocak 2019.
- [22] Vikipedi, Transistör sayısı, https://tr.wikipedia.org/wiki/Transist%C3%B6r_say%C4%B1s%C4%B1 , 10 Ocak 2019.
- [23] M. Rouse, "Definition: multi-core processor," TechTarget, 2013.
- [24] C. Gregg and K. Hazelwood, "Where is the data? Why you cannot debate CPU vs. GPU performance without the answer," (IEEE ISPASS) IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software, Austin, TX, USA, April 10-12, 2011, pp. 134-14.

- [25] R. Tocci, F. Ambrosio, and L. Laskowski, (2002). Microprocessors and Microcomputers: Hardware and Software , Second Edition.
- [26] H. Krad and Y. Al-Taie, "A new trend for CISC and RISC architectures. ," in Asian J. Inform. Technology, vol. 6, no. 11 , 2007, p. 1125.
- [27] M. O. Tokhi and M. A. Hossain, "CISC, RISC and DSP processors in real-time signal processing and control," in Microprocessors and Microsystems, vol. 19, no. 5, 1995, pp. 291-300.
- [28] D. Jagggar, (1996). ARM architecture reference manual. Prentice Hall, Second Edition, David Seal.
- [29] B. Smith, "ARM and Intel battle over the mobile chip's future," Computer, vol. 41, no. 5, 2008, pp. 15-18.
- [30] M. Rouse, ARM processor, <https://whatis.techtarget.com/definition/ARM-processor> , 21 Şubat 2019
- [31] Raspberry Pi 3 Model B, <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> , 10 Mart 2019.
- [32] P. Sachdeva and S. Katchii, "A review paper on raspberry pi," in International Journal of Current Engineering and Technology, Vol.4, No.6 ,2014, pp. 3818-3819.
- [33] T. V. Wilson and G. Gurevich , How Digital Cameras Work <https://electronics.howstuffworks.com/cameras-photography/digital/digital-camera.htm>, 26 Mart 2019
- [34] Tutorialspoint, Digital Image Processing Introduction https://www.tutorialspoint.com/dip/image_processing_introduction.htm, 20 Mart 2019
- [35] İ. Çayıroğlu, Görüntü İşleme Ders Notları, <http://www.ibrahimcayiroglu.com/>, 11 Nisan 2019
- [36] D. E. W. (DEW), Digital Cameras, <http://dew.globalsystemsscience.org/tools/digital-cameras-overview>, 10 Nisan 2019
- [37] D. E. W. (DEW), Light Inside a Camera-Take a closer look at light entering the camera , <http://dew.globalsystemsscience.org/tools/digital-cameras-overview/light-inside-a-digital-camera>, 28 Ocak 2019
- [38] A. K. Jain, (1989). Fundamentals of digital image processing, The Back-Projection Operator, vol. 445.
- [39] Adoriasoft, Image Recognition and Image Processing Techniques, <https://medium.com/@Adoriasoft/image-recognition-and-image-processing-techniques-fe3d35d58919>, 6 Şubat 2019
- [40] S. K. Dewangan, "Importance & Applications of Digital Image Processing," International Journal of Computer Science & Engineering Technology (IJCSET), vol. 7, no. 7, 2016, pp. 316-320.

- [41] B. Basavaprasad and M. Ravi, "A study on the importance of image processing and its applications," IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, vol. 3, 2014.
- [42] Vikipedi, Sayısal görüntü işleme https://tr.wikipedia.org/wiki/Say%C4%B1sal_g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BC_i%C5%9Fleme, 16 Mart 2019
- [43] Vikipedi, Görüntü işleme, https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BC_i%C5%9Fleme, 7 Mart 2019.
- [44] K. T. Koç, OpenCv , <http://talhakoc.net/category/opencv/>, 5 Şubat 2019
- [45] V. Oliveira and A. Conci, "Skin Detection using HSV color space," in H. Pedrini, & J. Marques de Carvalho, Workshops of Sibgrapi, January 2009, pp. 1-2.
- [46] D. Chai and A. Bouzerdoum, "A Bayesian approach to skin color classification in YCbCr color space," in 2000 TENCON Proceedings. Intelligent Systems and Technologies for the New Millennium (Cat. No. 00CH37119), Kuala Lumpur, Malaysia, Malaysia, Sept. 24-27, 2000, pp. 421-424.
- [47] K. T. Koç, YCrCb renk uzayı nedir, <http://talhakoc.net/tag/ycrcb-renk-uzayi-nedir/>, 9 Şubat 2019
- [48] D. D.Vasumathi and M. U. Kumar, "Neural Networksbased Development of Digital Image Processing Classification Techniques," in Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Nov. 2007.
- [49] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, (2002). Digital Image Processing. Prentice HallUpper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall.
- [50] B. Jähne,(2002). Digital Image Processing, Springer.
- [51] L. Li, J. Gaob, and B. Sethuramalingam, "A Survey of Remote Sensing Image Classification Approaches," in Journal Big Earth Data, 2015, p. 11, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/20964471.2019.1657720>
- [52] B.-U. Weimar, Image Processing Tools, https://www.uni-weimar.de/kunst-und-gestaltung/wiki/Image_Processing_Tools, 12 Mart 2019
- [53] S. S. Bedi and R. Khandelwal, "Various image enhancement techniques-a critical review.," in International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, vol. 2, no. 3, 2013.
- [54] S. Mallat and S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges," IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, vol. 14, no. 4, 1992, p. 710-732.
- [55] J. Jaybhay and R. Shastri, "A study of speckle noise reduction filters," Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ) vol. 6, no. 3, 2015.
- [56] B. Gupta and M. S. S. Negi., "Image Denoising with Linear and Non-Linear Filters:A REVIEW," IJCSI International Journal of Computer Science Issues, vol. 10, no. 2, 2013, p. 5.

- [57] K. Prakash, R. V. B. Bala, and B. V. Gopal., "Image independent filter for removal of speckle noise," International Journal of Computer Science Issues (IJCSI) vol. 8.5, no. 3, 2011.
- [58] R. Kaur and R. Kaur., "Survey of de-noising methods using filters and fast wavelet transform," International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineerin, vol. 3.2 , 2013.
- [59] S. James and J. Walker, (1999). A Primer on Wavelets and Scientific Applications, Second Edition.
- [60] M. Feuerstein, T. Kitasaka, and K. Mori, "Adaptive branch tracing and image sharpening for airway tree extraction in 3-D chest CT," Proc. of Second International Workshop on Pulmonary Image Analysis, vol. 1, 2009.
- [61] G. T. Shrivakshan and C. Chandrasekar, "A comparison of various edge detection techniques used in image processing," International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), vol. 9.5, no . 1, 2012.
- [62] C. Tomasi and R. Manduchi., "Bilateral filtering for gray and color images," Iccv, vol. 98, no. 1, 1998, p. 2.
- [63] opencv, opencv about, <https://opencv.org/about/>, 14 Nisan 2019
- [64] J. Goutsias, L. Vincent, and D. S. Bloomberg, "Mathematical morphology and its applications to image and signal processing.," Springer Science & Business Media, vol. 18, 2006.
- [65] M. Nixon and A. Aguado, (2002). Feature extraction and image processing, Newnes., Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX28DP 30.
- [66] T. Lv, B. Ozer, and W. Wolf., "A real-time background subtraction method with camera motion compensation," IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)(IEEE Cat. No. 04TH8763), Taipei, Taiwan, June 27-30, 2004
- [67] F. Suard, A. Rakotomamonjy, A. Bensrhair, and A. Broggi, "Pedestrian detection using infrared images and histograms of oriented gradients," in 2006 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Tokyo, Japan, June 13-15, 2006, pp. 206-212.
- [68] J. Dong, J. Ge, and Y. Luo., "Nighttime pedestrian detection with near infrared using cascaded classifiers," IEEE International Conference on Image Processing, San Antonio, TX, USA, Sept. 16- Oct. 19, 2007.
- [69] P. Viola and M. Jones, "Robust real-time object detection," International journal of computer vision, Vancouver, Canada, July 13, 2001, p. 13
- [70] A. Dhawan and V. Honrao., "Implementation of hand detection based techniques for human computer interaction," arXiv preprint arXiv, vol. 72, no. 17, 2013.
- [71] A. Loza, L. Mihaylova, N. Canagarajah, and D. Bull, "Structural Similarity-Based Object Tracking in Video Sequences," The 9-th International Conference on Information Fusion, Florence, Italy, July 10-13, 2006.

- [72] S. Baker and I. Matthews., "Lucas-kanade 20 years on: A unifying framework," International journal of computer vision, vol. 56, no. 3, p. 35, 2004.
- [73] B. D. Lucas and T. Kanade, "An iterative image registration technique with an application to stereo vision," in Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '81) , 1981, p. 121-130.
- [74] Sparkfun, Sparkfun RGB and Gesture Sensor – APDS -9960, https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/SparkFun_APDS-9960_RGB_and_Gesture_Sensor-v10.pdf, 21 Haziran 2019
- [75] V. Dibia, How to Build a Real-time Hand-Detector using Neural Networks (SSD) on Tensorflow, <https://medium.com/@victor.dibia/how-to-build-a-real-time-hand-detector-using-neural-networks-ssd-on-tensorflow-d6bac0e4b2ce>, 22 Haziran 2019
- [76] S. Invitto, The Leap Motion Controller, https://www.researchgate.net/figure/The-Leap-Motion-Controller-It-has-a-maximum-field-of-view-of-150-which-forms-an_fig1_275938361, 22 Haziran 2019
- [77] Google, Your hands are the only interface you will need, <https://atap.google.com/soli/>, 22 Haziran 2019

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Kemal Talha KOÇ
Doğum Tarihi ve Yeri :26.04.1992 , Mersin
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta :kemaltalhakoc@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Sayısal	Yusuf Kalkavan Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2019	Aras Kargo	Yazılım Mühendisi
2017	Keteks Tekstil	Yazılım Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. K.-T. Koç, R.-A. Vural, "İnsan Makine Haberleşmesi İçin El Hareketi Sensörü," in 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Yalova, Türkiye, February 14-17,2019, pp. 289-294

