



**ÇOK YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ KAMERA DONANIMI VE PARALEL
GÖRSEL VERİTABANI**

Metehan GÜZEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2016

Metehan Güzel tarafından hazırlanan “ÇOK YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ KAMERA DONANIMI VE PARALEL GÖRSEL VERİTABANI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Öğr. Gör. Dr. Muhammet ÜNAL

Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hacer YALIM KELEŞ

Bilgisayar Mühendisliği, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 26/08/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Metehan GÜZEL

26/08/2016

ÇOK YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ KAMERA DONANIMI VE PARALEL GÖRSEL VERİTABANI

(Yüksek Lisans Tezi)

Metehan GÜZEL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2016

ÖZET

Mobil teknolojinin gelişmesi ile birlikte teknolojik gelişmeler fonksiyonellikten çok boyutların küçülmesine odaklanmaktadır. Bu gelişmeleri takip eden elektronik üreticileri, düşük maliyetli, küçük boyutlu ve yüksek işlem gücüne sahip elektronik donanımlar üretmektedir. Bu donanımlardan bir kısmı da özellikle cep telefonu sektöründe çokça kullanılan optik ve opto-elektronik donanımlardır. Bu küçük boyutlu ve düşük maliyetli donanımlar kullanılarak, klasik tek kanallı sensörlerin erişemeyeceği birçok özellik, sensör dizilerinin kullanımı ile mümkün olmaktadır. Tez çalışması olarak sensör dizilerinin bir alt türü olan böcek gözü mimarisine sahip sistemler araştırılmıştır. Böcek gözü mimarisinin alternatifleri gözden geçirilmiş, böcek gözüne mimarisine göre avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Araştırma safhasından sonra maliyet etkin 4 kameralı bir prototip geliştirilmiştir. Kullanılan kameraların her biri 5 megapikselliğe sahiptir. Bu kameralardan getirilen görüntüler birleştirilerek 20 megapikselliğe bir görüntü elde edilmiştir. Farklı kameralardan gelen görüntülerin birleştirilmesi ve yüksek çözünürlüklü tek bir resim oluşturulması için AutoStitch yöntemi kullanılmıştır. AutoStitch yöntemi SIFT, KNN, Ransac ve çok bantlı harmanlama algoritmalarını kullanan bir yöntemdir. Geliştirilen prototipin çözünürlüğü çok yüksek olmamasına rağmen, sunulan yöntem ölçeklenebilir karakterdedir. Bu nedenle maddi imkanlar sağlandığı takdirde, çok daha yüksek çözünürlüklere sahip sistemler geliştirilebileceği görülmüştür.

Bilim Kodu : 92418

Anahtar Kelimeler : Sensör Dizileri, Yüksek Çözünürlüklü Kameralar, Görüntü İşleme, Böcek Gözü Sensörler

Sayfa Adedi : 78

Danışman : Öğr. Gör. Dr. Muhammet ÜNAL

VERY HIGH RESOLUTION CAMERA HARDWARE AND PARALLEL VISUAL
DATABASE

(M. Sc. Thesis)

Metehan GÜZEL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2016

ABSTRACT

Recent progress on computer technologies is focused on mobility and size reduction rather than functionality. As a result, researchers and commercial manufacturers developed low-cost, compact and high-capability electronic hardware. Some of this hardware are, optical and optoelectronic hardware which are widely used in mobile technologies. Hereby in the light of recent technological advance it is possible to organize compact cameras with a two dimensional array hierarchy and build very capable systems that are not enormous. These systems can be used to enhance classical sensors in various ways. In this study, camera arrays, insect eye inspired sensors and their alternatives have been investigated. Advantages and disadvantages of each architecture is determined. As an experimental system, a prototype that is composed of 4 camera has been developed. Each of cameras has 5 megapixels of resolution. System combines multiple images that are captured simultaneously using AutoStitch method. AutoStitch method uses SIFT, RANSAC, KNN and multiband blending algorithms to combine images. System has a total resolution of 20 megapixels which is not very high. But purposed design is scalable, total resolution of system may be increased by using more cameras.

Science Code : 92418
Key Words : Sensor Arrays, High Resolution Cameras, Image Processing, Insect
Eye Inspired Sensors
Page Number : 78
Supervisor : Lecturer Dr. Muhammet ÜNAL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında benden desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	x
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	3
2.1. Sensör Dizileri Kullanan Sistemler	3
2.2.1. Ticari ürünler	9
2.1.2. Astronomi alanındaki çalışmalar	12
2.2. Böcek Gözü Mimarisindeki Sistemler	12
2.3. Ayna Destekli Sistemler	25
2.4. Mikrolens Dizileri	28
3. BÖCEK GÖZÜ SİSTEMLER	31
3.1. Böcek Gözü Mimarisi	31
3.1.1. Apozisyon göz mimarisi	31
3.1.2. Süperpozisyon göz mimarisi	32
3.2. Böcek Gözü Mimarisinin Avantajları	33

	Sayfa
4. ALTERNATİF MİMARİLER	35
4.1. PTZ Kameralar.....	35
4.2. Dönen Kameralar	38
4.3. Balık Gözü Kameralar	38
4.4. Ayna Destekli Kameralar	39
5. GELİŞTİRİLEN SİSTEM	41
5.1. Sistem Yapısı	41
5.2. Kullanılan Donanım.....	42
5.3. Görüntü İşleme.....	46
5.3.1. SIFT Algoritması	47
5.3.2. KNN Algoritması	53
5.3.3. Ransac Algoritması	53
5.3.4. Çok Bantlı Harmanlama.....	54
5.4. Görsel Veritabanı	57
5.5. Video Oynatıcı	58
5.6. Video Kaydedici.....	61
5.3.1. Canlı yayın	61
5.3.1. Video kaydı	63
6. SONUÇ	67
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	78

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sensör dizisi yapısına sahip sistemlerin özellikleri..	8
Çizelge 2.2. Point Grey firmasının LadyBug sensörlerinin özellikleri	10
Çizelge 2.3. AWARE Programı kapsamında geliştirilen kameraların özellikleri	22
Çizelge 2.4. Böcek gözü mimarisindeki sistemlerin özellikleri	24
Çizelge 2.5. Ayna destekli sistemlerin özellikleri.....	28
Çizelge 2.6. Mikrolens dizilerinin özellikleri	30
Çizelge 5.1. Raspberry Pi 3 teknik özellikler	42
Çizelge 5.2. Raspberry Pi 2 Model B teknik özellikler	42
Çizelge 5.3. Raspberry Pi 3 Kamera modülü teknik özellikleri	43

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Çözünürlük arttırılması amacıyla yapılmış bir sensör dizisi çalışması	4
Resim 2.2. Saniyede 1560 çerçevelik video çekilmesini sağlayan sistem.....	5
Resim 2.3. Point Grey Şirketinin geliştirdiği LadyBug sensörleri	10
Resim 2.4. Google şirketinin geliştirdiği R7 Street View adlı kamera sistemi	11
Resim 2.5. DECam kamerasının 62 adet CCD kameradan oluşan sensörü	12
Resim 2.6. Geliştiren sensörün esnek yapısı.....	13
Resim 2.7. 14 megapiksellik çözünürlüğe sahip böcek gözü sensör	14
Resim 2.8. Otonom navigasyon amacıyla oluşturulmuş bir böcek gözü sensör.....	15
Resim 2.9. Marefat ve arkadaşlarının geliştirdiği sensör.....	16
Resim 2.10. Panoptic kamera.....	17
Resim 2.11. OMNI-R	18
Resim 2.12. Seyid ve arkadaşları tarafından geliştirilen sensör	19
Resim 2.13. ARGUS IS gözetleme sistemi	20
Resim 2.14. AWARE-2 ve AWARE-10 sensörleri	22
Resim 2.15. QG Kamera.....	23
Resim 2.16. Kawanishi ve arkadaşları tarafından geliştirilen sensör	25
Resim 2.17. Uha ve Tan tarafından geliştirilen sensör	26
Resim 2.18. FascinatE projesi kapsamında geliştirilen “2D OmniCam” sensörü	27
Resim 2.19. Krill Eye lensi	29
Resim 2.20. eCley	29
Resim 4.1. Gigapiksel çözünürlükte resim çeken PTZ kamera	36
Resim 4.2. Gigapiksel çözünürlükte resim çeken PTZ kamera	37
Resim 5.1. Raspberry Pi 3 kartı ve kamera modülü	43

Resim	Sayfa
Resim 5.2. Tasarıma göre birleştirilen sensör.....	33
Resim 5.3. SIFT algoritmasının uygulaması için kullanılan resimler	37
Resim 5.4. SIFT algoritma uygulama adımları 1	38
Resim 5.5. SIFT algoritma uygulama adımları 2.....	39
Resim 5.6. SIFT algoritma uygulama adımları 3.....	40
Resim 5.7. Harmanlama testi için kullanılan resimler	43
Resim 5.8. Harmanlama testi sonuçları	44
Resim 5.9. Canlı yayın modülü.....	47
Resim 5.10. Geliştirilen video oynatıcı.....	48
Resim 5.11. Birleştirilmiş resim	48
Resim 5.12. Bilgi dosyasının taslağı ve örnek bir bilgi dosyası	63
Resim 5.13. Parça uzunluğu ve parça sayısının kullanıcıdan alındığı arayüz	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Geliştirilen sistemin yapısı	29
Şekil 5.2. Sensörlerin birbirine göre açıları	44
Şekil 5.3. Sensörlerin birbirine uzaklıkları	44
Şekil 5.4. Belirlenen uzaklık ve açılara göre tasarlanan sensör	45
Şekil 5.5. AutoStitch Algoritmasının şematik gösterimi	46
Şekil 5.6. SIFT Algoritmasının şematik gösterimi	47
Şekil 5.7. RANSAC Algoritmasının şematik gösterimi	54
Şekil 5.8. Görsel veritabanı yapısı	57
Şekil 5.9. Canlı yayın akış diyagramı	62
Şekil 5.10. Video kaydının algoritması.....	64

1. GİRİŞ

İnsan gözü yüksek çözünürlüğe ve orta derecede görüş açısına sahip, tek odaklı bir sensördür. İnsanoğlu medeniyeti tarafından geliştirilen ilk görsel sensörler de (kameralar) insan gözünü taklit etmiştir ve benzer özelliklerin elde edilmesine odaklanmıştır. Bu tip tek odaklı sensörler yardımı ile bir çok soruna çözüm bulunabilmesine rağmen, bilgisayarla görme alanında çözümü için daha farklı yeteneklere sahip sensörlere ihtiyaç duyan bir çok problem bulunmaktadır. Ek olarak teknolojinin gelişmesi ile gelinen noktada, yeni teknolojik gelişmelerin bir çoğu, yeni özelliklere ihtiyaç duymaktadır. Daha geniş görüş alanı, daha yüksek çözünürlük gibi birçok özellik sensörlerden beklenmektedir. Bu noktada çeşitli özelliklerin geliştirilmesine dair farklı mimariler ortaya çıkmıştır.

Bu mimarilerden biri olan böcek gözü mimarisi çok sayıda görsel kanal kullanımı ile sensörlerin çeşitli özelliklerinin geliştirilmesini sağlar. Doğada çoğunlukla görüş açısının arttırılmasını ve elde edilen görsel bilginin işleme zamanını düşürmek amacıyla kullanılmıştır. Böcek gözü mimarisi, böcek gözlerinde bulunan bu özelliklerin bilgisayarla görme alanına kazandırılmasını amaçlamaktadır. Görüş açısı ve veri işleme hızını arttırılmasına ek olarak tek odaklı görsel sistemlerin, optik kısıtlamalardan dolayı ulaşamayacağı veya ulaşmasının maddi olarak makul olmadığı kadar yüksek çözünürlüğe böcek gözü mimarisi ile ulaşılması mümkündür.

Son yıllarda mobil teknolojiler teknolojinin ana odağı olmuştur. İlk çıktığında sadece iletişim amacına yönelik olarak üretilen cep telefonları, son dönemlerde kullanıcının tüm teknolojik ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak geliştirilmektedir. Bu ihtiyaçlardan en çok önemsenen özelliklerinden biri de fotoğraf çekebilme yeteneğidir. Artık üzerinde işletim sistemi veya kamera bulunmayan cep telefonları üretilmemektedir. Sadece iletişim için kullanılan cep telefonları yerlerini, kullanıcının çoğu bilişim ihtiyacını halledebilecek çok işlevli cep telefonlarına bırakmıştır. Tek kamera artık yetersiz gelmektedir, çoğu model ön ve arka olmak üzere iki kamerayla çıkmaktadır. 2016 yılı itibariyle artık 3 kamera ile piyasaya çıkan modeller bile bulunmaktadır. Bu nedenle firmalar her modellerinde kameralarının başta çözünürlük olmak üzere, özelliklerini geliştirmektedir ve yüksek kapasiteli optik-elektronik bileşenleri mobil cihazlara takılabilecek hale getirmek adına küçültmektedir. Bu durum düşük maliyetli ve az yer

kaplayan opto-elektronik donanımlara ulaşma imkanı sağlamaktadır. Yüksek kamera çözünürlüğü beraberinde yüksek işlem gücü gereksinimini de getirir. Mobil firmalar, yüksek çözünürlüklü kameralardan gelen yüksek boyuttaki veriyi işleyebilmesi amacıyla cihazlarındaki işlemcilerin grafik işleme özelliklerini ve bellek kapasitelerini de arttırmaktadır. Bu durum böcek gözü mimarisine sahip bir sensör sistemi geliştirmek için gereken, düşük maliyetli, kompakt ve yüksek kapasiteli donanımlara ulaşma imkanı vermektedir. İşin donanım yanına ek olarak, yazılım olarak da cep telefonlarının işletim sistemleri gelişmiştir. Bir çok farklı cep telefonu ve tabletlerde çalışan bu işletim sistemleri, araştırmacılara üzerinde çalışılabilecek gelişmiş bir ortam sağlamaktadır

Böcek gözü mimarisinin sağladığı bir diğer avantaj da tek kanallı ye yüksek çözünürlüklü sistemlerin, optik ve opto-elektronik kısımlarının tasarlanmasının zorluğuna ek olarak, elde edilen verinin elektronik olarak aktarılması ve kodlanması yüksek karmaşıklığa sahip bir iştir. Bunun tek bir işlemci ile yapılması günümüzdeki işlemcilerle çok zor ve verimlilikten uzak bir yöntemdir. Çok büyük verinin tek bir sabit diske yazılması, sabit disklerin hız sınırlandırmalarından dolayı çok zordur. Bu amaçla kullanılabilecek donanımların özel olarak üretilmesi gerekir, bu da maliyeti çok yükseltir. Bu problem –GÇ Darboğazı- (IO Bottleneck) diye adlandırılmaktadır. Bu noktada böcek gözü mimarisi kullanıldığında, yüksek işlem gücü ve hız gerektiren işlemler paralel bir sistem sayesinde karmaşılaşmadan, piyasada bulunan ve düşük maliyetli donanımlar sayesinde kolayca halledilebilir duruma gelmektedir.

Yapılan tez çalışması elektro optik sistemler üzerine yapılmış çalışmaların kronolojik olarak tarandığı ve özetlendiği literatür taraması bölümü olan 2. Bölüm ile başlamaktadır. Akabinde böcek gözü mimarisinin açıklandığı 3. Bölüm ile devam edilecektir. Böcek gözü mimarisinin alternatiflerinin karşılaştırmalı olarak açıklandığı 4. bölümden sonra 5. bölümde geliştirilen böcek gözü mimarisi prototipi sunulacaktır. Prototipin yapısı ve kullandığı metodların anlatılmasından sonra 6. Bölümde elde edilen kazanımlar ve literatüre yapılan katkıdan bahsedilecektir. Çalışma 7. bölümde sonuç ile bitirilecektir.

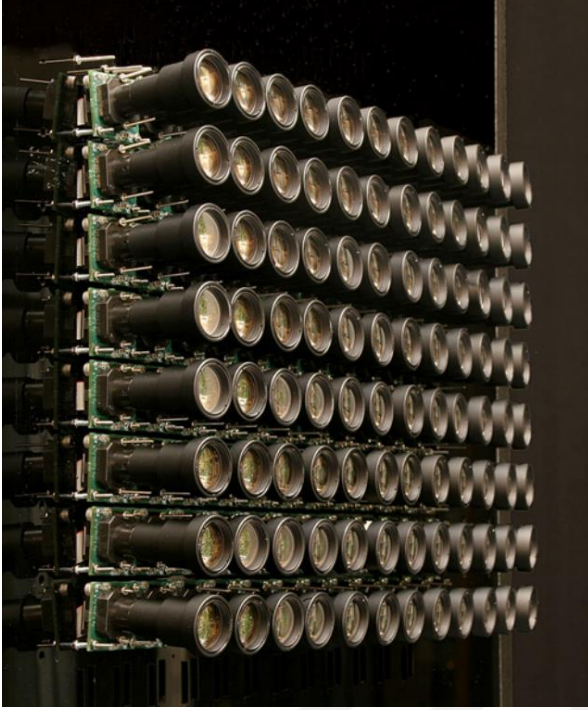
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Böcek gözü mimarisi çok sayıda görsel kanaldan alınan verilerin birleştirilmesine dayanan bir mantıkla çalışmaktadır. Bu mantık elektronik alana aktarıldığında sensor dizileri ortaya çıkmıştır. Böcek gözü mimarisi dediğimiz yapı da esasen özelleşmiş bir sensor dizisi yapısıdır. Bu nedenle, literatür taraması kapsam olarak sensor dizilerini de içerecek şekilde genişletilmiştir.

Sensör dizilerini ve böcek gözü mimarisindeki sensörleri incelediğimiz bir yayınıımız halihazırda bulunmaktadır [88]. Bu iki konuya ek olarak 2 yeni konunun da eklenmesi ile yeni literatüre kapsamı ortaya çıkmıştır. Bu kapsam içerisinde 4 ana başlık altında tarama yapılmıştır. Bunlar sırasıyla böcek gözünün atası olan sensor dizilerini kullanan sistemler, böcek gözü mimarisindeki sistemler, yansıtıcı yüzeyleri kullanan çoklu sensor sistemleri ve lens kullanan sensörler olarak kategorize edilmiştir.

2.1. Sensör Dizilerini Kullanan Sistemler

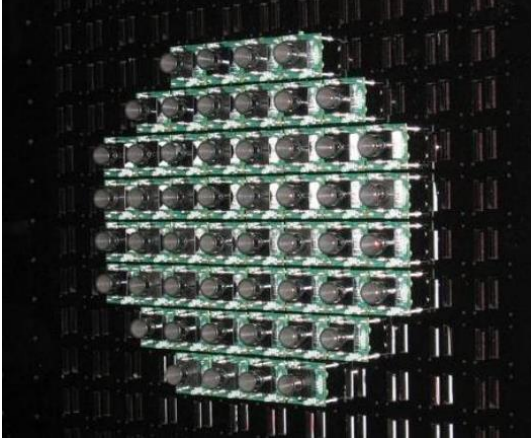
Willburn ve arkadaşları, çalışmalarında [2] çok sayıda kameradan elde edilen görüntüler birleştirilerek çözünürlüğü yükseltmek hedeflenmiştir. Her biri 0.3 megapiksellik çözünürlüğe sahip 96 adet kamera 12 x 8 formasyonuna sahip bir dizi olacak şekilde yerleştirilmiştir. Akabinde bu kameralar, görüş alanlarının kesişmeleri minimize edilecek şekilde yönlendirilmiştir. Test için kullanılan formasyonda komşu kameralar arasında %50 oranında görüş alanı kesişmesi bulunduğu belirtilmiştir. 96 adet kameradan gelecek görsel veri göz önüne alındığında ağ performansının yüksek olması gerekliliği belirtilmiştir, araştırmacılar bu sorunu videoyu mpeg 2 metodu ile kodlayarak çözmüşlerdir. Kodlama her kameraya bağlı olan kartlar sayesinde yapılmıştır. Resimlerin birleştirilme işleminde Autostitch algoritması kullanılmıştır. Renk kalibrasyonu uygulamasından sonra son resim elde edilmiştir. Elde edilen resmin 3800 x 2000 piksellik bir çözünürlüğe sahip olduğu belirtilmiştir, görüş alanlarında kesişimin azaltılması ile bu değerin yüksekilebileceği belirtilmiştir. Sistemin çözünürlüğü kesişme oranı sıfırlandığında 29 megapiksele çıkabilecektir.



Resim 2.1 Çözünürlük artırılması amacıyla yapılmış bir sensör dizisi çalışması [2]

Resim 2.1’de verilen ve toplam 96 kameradan oluşan sistem 7.6 megapikselli bir çözünürlüğe sahiptir. Bu değer kameraların görüş alanı kesişimi sıfırlandığı durumda 30 megapiksele kadar çıkmaktadır. Yılına göre başarılı olan bu çözünürlük değeri günümüzde cep telefonlara bile takılabilecek kadar küçük boyutlu sensörler ile elde edilebilmektedir. Sony markasını 2016 yılında çıkardığı Xperia Z5 modelinde 23 megapikselli bir sensör bulunmaktadır ve bu sensörün büyüklüğü 1 santimetreden düşüktür. Örnek olarak verilen 2 sensör arasındaki boyut farkı çok açıktır.

Willburn ve arkadaşları çalışmalarında [3] 52 adet kamera dizi formasyonunda ve görüş alanları aynı noktaya bakacak şekilde yerleştirmiştir. Her biri 0.3 megapikselli çözünürlüğe ve saniyede 30 resim çekme kapasitesine sahip olan kameraların resim çekim zamanları ayarlanarak saniyede 1560 resim çekebilen bir kompozit sensör elde edilmiştir. Sisteme dair şekil aşağıda verilmiştir.



Resim 2.2. Saniyede 1560 çerçevelik video çekilmesini sağlayan sistem [3]

Hu ve arkadaşları çalışmalarında [6] kompozit sensör kullanımı ile görüş açısının geliştirilmesi amaçlamıştır. Bu amaca yönelik 3 tane görsel sensörün yanyana yerleştirilmesine dayanan bir yapıya sahip kompozit bir sensör geliştirilmiştir. Kullanılan sensörlerden her birinin 50 derecelik yatay görüş açısına ve 270 x 180 piksellik çözünürlüğe sahip olduğu belirtilmiştir. Bu sensörlerin birbirinden 35 derecelik açı ile ayrılacak şekilde yerleştirilmesi ile kompozit sensör elde edilmiştir. Elde edilen komşu görüntülerin birbirine dikilmesi için bir bilgisayar kullanılmıştır. Görüntü işleme aşaması sonrası elde edilen görüntünün 660 x 180 piksellik çözünürlüğe, saniyede 30 çerçevelik hıza ve 120 derecelik bir görüş açısına sahip olduğu belirtilmiştir. 9 kamera kullanımı ile tamamen panoramik bir video elde edilebileceği belirtilmiştir.

Feng ve arkadaşları çalışmalarında [7], 3 CCD kameradan oluşan bir kompozit sensör geliştirmişlerdir. Yanyana yerleştirilen sensörlerden gelen görsel verilerde öncelikle kesişen bölgelerin tespiti, ardından dikiş izi kalmayacak şekilde bölgelerin birbirine dikilmesi işlemi yapılmıştır. Her kameranın 768 x 494 piksellik çözünürlüğe sahip olduğu sistemin, laboratuvar ortamında ve açıkavada testleri yapılmıştır. Test sonuçları çalışmanın başarılı olduğunu ve dikiş izi bırakmayacak şekilde değişken çözünürlüğe sahip bir sistem elde edildiği belirtilmiştir.

Prabhakara ve arkadaşları çalışmalarında [9] CCD sensör ile çalışma kapsamında geliştirilen böcek gözü mimarisindeki kompozit sensör karşılaştırmışlardır. Kullanılan böcek gözü sensör ortada bir sensör ve onun etrafında bulunan, merkezdeki sensöre göre birbirine 60'ar derecelik açı yapan 6 sensör olmak üzere toplam 7 sensörden oluşmaktadır. Karşılaştırma için kullanılan CCD sensör ise

768 x 494 piksellik çözünürlüğe sahip klasik bir ccd sersördür. Böcek gözü sensör ile elde edilen görüntü, CCD sensöre göre çok daha düşük kalitede olmasına rağmen, hız ve kontrast tespit testlerinde çok daha iyi tepkiler vermiştir. Hareket eden cisimler çok daha yüksek oranda tespit edilmiş ve hızları çok daha kesin bir şekilde gözlemlenebilmiştir

Liu ve arkadaşları çalışmalarında [10] çok sayıda CCTV kameradan elde edilen görüntülerin gerçek zamanlı olarak birbirine dikilmesi ile geniş bir alanın tek video şeklinde görüntülenmesine dair bir çalışma yapmışlardır. 640 x 480 çözünürlükte videonun saniyede 12 çerçeve hızında gerçek zamanlı birleştirilmesine izin veren bir method ortaya konulmuştur. Metot Sift ve Ransac algoritmalarının ardarda kullanılmasını içermektedir. Dikiş işlemi gömülü sisteme entegre edilerek ve RTSP protokolü kullanılarak bu hız saniyede 30 çerçeveye kadar çıkarılmış, bütün işlem istemcinin görmeyeceği şekilde halledilebilmiştir. Testler 640 x 480 çözünürlükte 4 kameradan alının görüntü ile yapılmıştır.

Çalışma [19] kapsamında 48 kameradan oluşan bir sensör dizisi oluşturulmuştur. Dizi çok sayıda kameradan aldığı görüntüleri işleyip, birleştirip yüksek kalitede video üretmektedir. Kameraların her biri 640 x 480 çözünürlükte saniyede 30 çerçeve yakalama kapasitesine sahiptir. Dizi üzerinde çalıştırılan algoritma JPEG formatını açmak, lensten kaynaklı görsel hataları düzeltmek, sahne geometrisini oluşturmak gibi görevleri tek işlemci üzerinde saniyede 4-10 çerçevelik bir hızla gerçekleştirebilmektedir. Donanımsal yetersizliklerin aşılması durumunda çok daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir.

Tang ve arkadaşları çalışmaları [20] kapsamında çok sayıda kameranın kullanımı ile görüş açısının arttırılmasına dair bir metodoloji sunulmuş ve bu metodolojiyi kullanan bir sistem geliştirmişlerdir. CCD kameralar kullanılan sistem, öncelikle 4'lü kamera grupları ve dördü kamera gruplarından gelen görüntüleri birleştiren işleyicilerden oluşur. Bu işleyiciler gelen 320 x 240 piksellik çözünürlükteki video akışlarını birleştirerek 640 x 480 piksellik tek bir akışa çevirir. Sonrasında bu akış bir üst katmanda olan işleyiciye gönderilir. Test için geliştirilen prototipte 8 kamera, 2 ilk seviye işleyici ve 1 tane üst seviye işleyici kullanılmıştır. Sonuç olarak 150 derecelik bir görüş açısı elde edilmiştir. Daha çok sayıda kamera kullanılarak bu değerin arttırılabileceği belirtilmiştir.

Tanimoto çalışmasında [21] özgür görüş noktalı televizyon uygulaması sunmuştur. Bu uygulamada izleyici gerçek zamanlı olarak bakış noktasını değiştirerek 3 boyutlu sahneyi izleyebilmektedir. Çalışma kapsamında bu tip görüntülemeye imkan verecek kayıt sistemine dair farklı konfigürasyonlar 100 adete kadar kamera sayısı ile gerçekleştirilmiştir.

Xu ve arkadaşları, çalışmaları [22] kapsamında gerçek zamanlı olarak panoramik video kaydı yapabilen bir sistem geliştirilmişlerdir. Sistemin kompozit yapıdaki görüntüleme birimi pentagon şeklinde bir platformun yüzeylerine yerleştirilmiş 5 adet kameranın oluşmaktadır. Bu görüntü birimi FPGA katmanına bağlıdır, bu katmanda görüntü işleme görevleri yerine getirilmektedir. Kullanılan her kamera 1280 x 720 piksellik görüntüleme çözünürlüğüne ve yatay 90 derecelik görüş açısına sahiptir. Pentagon platformda her kameraya 72 derecelik bir görüş açısını görüntüleme görevi düşmektedir. Arta kalan 18 derecelik kesişmeler, dikiş işlemini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak 6000 x 720 piksellik bir çözünürlükte saniyede 15 çerçevelik, 6000 x 360 piksellik çözünürlükte 30 çerçevelik kayıt kapasitesi elde edilmiştir.

Stereo görüş insanlara olduğu gibi makinalara da bir derinlik bilgisi vermektedir. Derinlik tespiti için stereo kullanılması yeni bir yöntem değildir, araştırmacılar da bu noktadan yola çıkarak çoklu stereo kullanımını test etmişlerdir [45]. Bu amaçla 16 kameralık bir kamera dizisi oluşturulmuştur. Kullanılan kameraların her biri 640 x 480 piksellik çözünürlüğe sahiptir ve 30 Hertz frekansı ile kayıt yapabilmektedir. Bir derinlik haritası elde edilmesi amacıyla bir kameradan alınan kaydın; üst, alt, sağ ve sol komşularından gelen görüntüler kullanılmıştır. Bu yöntem normal stereo görüşe göre 4 kat fazla işlem gücü gerektirmesine rağmen çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Sistem 17 Hertz frekansı ile çalışabilmektedir.

Çizelge 2.1. Sensör dizisi yapısına sahip sistemlerin özellikleri

Referans	Konfigürasyon	Kamera Çözünürlüğü	Sistem Çözünürlüğü	Sistem Görüş Açısı	FPS
Willburn [2]	12 x 8	640 x 480 (0.3 MP)	3800 x 2000 (7.6 MP)	N/A	-
Willburn [3]	52	640 x 480 (0.3 MP)	640 x 480 (0.3 MP)	N/A	1560
Hu [6]	3 x 1	270 x 180 (0.04 MP)	660 x 180 (0.11MP)	120 (Y)	30
Feng [7]	3 x 1	768 x 494 (0.37 MP)	N/A	N/A	N/A
Liu [10]	2 x 2	640 x 480 (0.3 MP)	N/A	N/A	12
Zhang [19]	48	640 x 480 (0.3 MP)	N/A	N/A	4 - 10
Tang [20]	4 x 2	320 x 240 (0.07 MP)	1280 x 480 (0.6 MP)	150 (Y)	N/A
Tanimoto [21]	100	N/A	N/A	360 (Y)	N/A
Xu [22]	5 x 1	1280 x 720 (0.9 MP)	6000 x 360 (2.1 MP)	360 (Y)	30
			6000 x 720 (4.2 MP)		15
Flaughter [24]	62	4096 x 2048 (8MP)	N/A (570 MP)	N/A	-

2.1.1. Ticari ürünler

Bu bölümde ticari olarak geliştirilen sensör dizilerinden bahsedilecektir.

LadyBug sensörleri

Point Grey şirketinin geniş görüş açısı ve yüksek çözünürlük elde etmek amacıyla LadyBug serisi sensörleri geliştirmiştir. Bu sensörlerden 3 tane bulunmaktadır [25].

LadyBug2

İlk geliştirilen sensör, 6 adet 0.8 megapiksel çözünürlüğe ve 90 derecelik köşegen görüş açısına sahip olan sensörlerden oluşan LadyBug2 adlı sensördür. LadyBug2 toplam kürenin %75'ini görüntüleyebilecek bir görüş alanına sahiptir ve silindir şeklindedir. 360 x 180 derecelik görüş açısını sağlayan yapı; 5 adet sensör birbiri ile 72 derecelik açı yapabilecek şekilde silindirin etrafına, 6. sensör ise silindirin tepesine konumlandırılması ile elde edilmiştir. 4.8 megapiksellik toplam görüntüleme kapasitesine sahiptir, 1024 x 768 piksellik bir çözünürlükte ve saniyede 15 çerçevelik bir hızda kayıt yapabilmektedir.

LadyBug3

LadyBug3 toplam kürenin %80'ini görüntüleyebilecek bir görüş alanına sahiptir ve pentagon şeklindedir. 5 adet sensör birbiri ile 72 derecelik açı yapabilecek şekilde pentagonun yan yüzeylerine, 6. sensör ise pentagonun tepesine konumlandırılmıştır. Her sensör 2 megapiksel değerinde çözünürlüğe ve 90 derecelik köşegen görüş açısına sahip olacak şekilde, toplam 12 megapiksellik görüntüleme kapasitesine sahiptir, 1600 x 1200 piksellik bir çözünürlükte ve saniyede 6.5 çerçevelik bir hızda kayıt yapabilmektedir.

LadyBug5

LadyBug5 toplam kürenin %90'ını görüntüleyebilecek bir görüş alanına sahiptir ve pentagon şeklindedir. 5 adet sensör birbiri ile 72 derecelik açı yapabilecek şekilde pentagonun yan

yüzeylerine, 6. sensör ise pentagonun tepesine konumlandırılmıştır. Her sensör 5 megapikselli çözünürlüğe ve 90 derecelik köşegen görüş açısına sahip olacak şekilde, toplam 30 megapikselli görüntüleme kapasitesine sahiptir, 2048 x 2448 piksellik bir çözünürlükte ve saniyede 10 çerçevelik bir hızda kayıt yapabilmektedir. Jpeg sıkıştırması uygulanmadığı durumda bu değer saniyede 5 çerçeveye düşmektedir.

Çizelge 2.2. Point Grey firmasının LadyBug sensörlerinin özellikleri [25]

İsim	Kamera Çözünürlüğü	Sistem Çözünürlüğü	Görüş Açısı	FPS	Kodlama Metodu
LadyBug 2	0.8 MP	4.8 MP	360 (Y) x 270 (D)	-	JPEG
		0.8 MP		15	
LadyBug 3	2.0 MP	12 MP	360 (Y) x 288 (D)	-	
		1.9 MP		6.5	
LadyBug 5	5 MP	30 MP	360 (Y) x 324 (D)	-	
		5 MP		10	
		5 MP		5	RAW



Resim 2.3. Point Grey Firmasının geliştirdiği LadyBug sensörleri a) LadyBug2 b) LadyBug3 c) LadyBug5 [25]

Google Street View kameraları

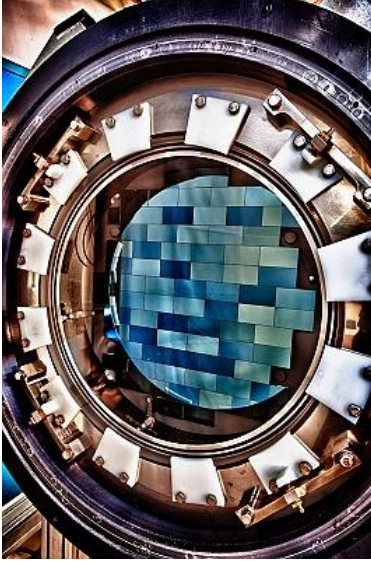
Google şirketinin “Street View” uygulamasını geliştirmek için kullandığı Rosette (R) serisi kameralar çok yönlü kayıt yapma yeteneğine sahiptir. Bunlardan 2. nesil sensör olan R2 bir çember etrafında yerleştirilmiş 8 tane sensörden oluşan bir kayıt katmanına sahiptir. Bu sensörlerden her birinin 11 megapikselli bir kayıt kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Bu sensör uygulamanın ilk çekimleri için kullanılmıştır. Daha sonra 5. nesil sensör olan R5 geliştirilmiştir. Bu sensör R2 ile aynı formasyonu kullanır ancak kullanılan sensörler 5 megapikselli çözünürlüğe sahip CMOS sensörlerdir. Ayrıca R2'ye ek olarak binaların üstlerini kaydedebilmeyi sağlamak amacıyla sensörün üst tarafına eklenmiş bir balık-gözü lensi de barındırır. Şirketin son geliştirdiği ve kullanıma sunduğu sensör ise 7. nesil olan R7 sensörüdür. Bu sensör küresel bir yapıya sahiptir ve kürenin üzerine yerleştirilmiş 15 kameradan oluşur. Bu kameralardan her biri 5 megapikselli çözünürlükte kayıt yapabilen CMOS sensörlerdir. Kompozit sensör küresel şeklinden dolayı R5'in eksik yanı olan alt tarafları kaydedebilmeyi de sağlamaktadır. Şu an “Street View” uygulamasında karşılaşılan görüntülerin büyük bir çoğunluğu R5 ve R7 sensörleri ile kaydedilmiştir. Rosette sensörlerin diğer nesilleri olan R1, R3, R4 ve R6 ise prototip aşamasında kalmıştır, kullanıma ve seri üretime geçilmemiştir [86].



Resim 2.4. Google şirketinin geliştirdiği R7 Street View adlı kamera sistemi [86]

2.1.2. Astronomi alanındaki çalışmalar

Uzay gözlemleri de kompozit sensör kullanılan alanlardan biri. Çalışma kapsamında geliştirilen DECam (Dark Energy Survey Camera), 2K x 4K piksellik çözünürlüğe sahip 62 adet CCD sensörden oluşan bir görüntüleme birimine sahiptir. Elde edilen toplam çözünürlük 570 megapikseldir [24].



Resim 2.5. DECam kamerasının 62 adet CCD kameradan oluşan sensörü [24]

2.2. Böcek Gözü Mimarisindeki Sistemler

Aldalali ve arkadaşları [1] çalışmalarında çoklu sensör kullanımı ile çözünürlüğü ve görüş açısını geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Mikroelektronik alanda yapılan çalışmada boyutları 1 mm x 1 mm olan ve 250 x 250 piksel boyutlarında kayıt yapabilen mikrokameralar kullanılmıştır. Bu kameralar 3 boyutlu yazıcı yardımıyla oluşturulmuş, esnek ecoflex köprüler ile birleştirilmesi sonucunda kompozit sensör elde edilmiştir. Esnek köprüler sayesinde kameraların formasyonu kayıt sırasında değişebilmektedir, bu da değişken çözünürlük ve görüş açısı değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak 130 dereceye kadar yükselebilen bir görüş açısı ve 643 x 366 piksellik çözünürlüğe sahip, görünür bir dikişi olmayan bir resim elde edilmiştir. Çalışmanın sağlık alanında yararlı olabileceği ve bu konuda daha ileri çalışmaların önünü açabileceği düşünülmektedir.



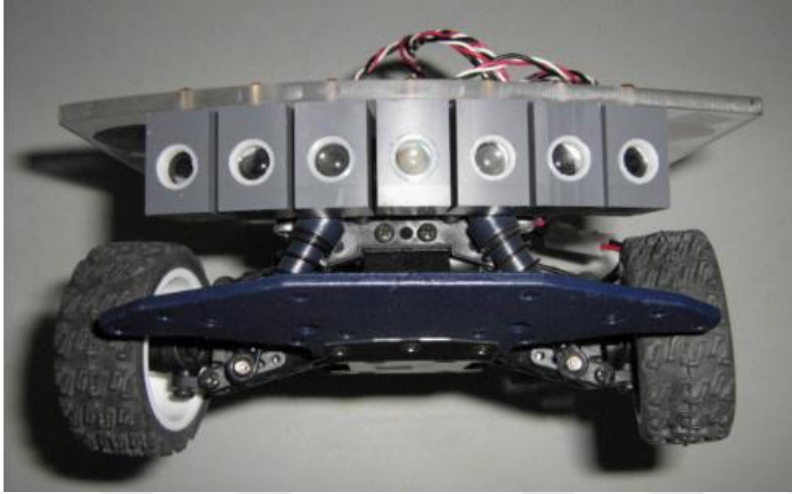
Resim 2.6. Geliştiren sensörün esnek yapısı [1]

Cossairt ve arkadaşları, çalışmalarında [4] böcek gözü bir sensör ve PTZ bir kamera ile yüksek çözünürlük elde etme amacı gütmüşlerdir. Geliştirilen sensörleri karşılaştırmışlardır. Geliştirilen böcek gözü sensör, yanyana yerleştirilen beş adet kameradan oluşmaktadır. Kullanılan kameraların çözünürlüğü 5 megapikseldir. Her kameranın baktığı yöne bir röle lensi konumlandırılmıştır ve küre lens kullanılarak tüm sahnenin röle lensleri tabakasının üstüne düşmesi sağlanmıştır. Kameralardan elde edilen görüntülerin birbirine dikilmesi sonucu 14.000×1000 piksellik bir görüntü elde edilmiştir. Renk doğrulaması için kendi geliştirdikleri bir algoritmayı kullanan araştırmacılar, resim birleştirmek için Microsoft Image Composite Editor adlı yazılımı kullanmışlardır.



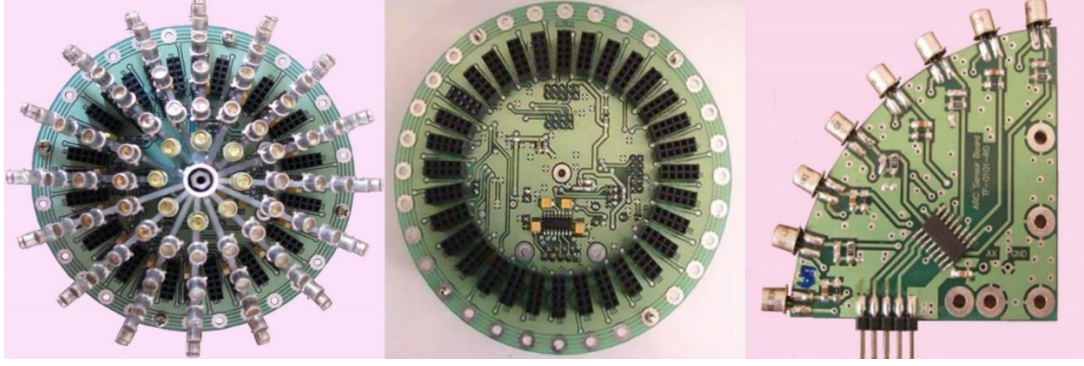
Resim 2.7. 14 megapikselli k  z n rl  e sahip böcek gözü sensör [4]

David ve arkadaşları çalışmalarında [5] apozisyon göz mimarisinin, otonom navigasyon alanına uygulanmasına dair bir araştırma yapmışlardır. Çalışma kapsamında apozisyon göz mimarisine sahip kompozit bir sensör oluşturulmuştur. Kompozit sensör birbiri arasında 60 derecelik açı bulunduran yedi görsel sensörün birleşiminden oluşmuştur. Bu açılı yapı sayesinde sensörün sahip olduğu görüş açısının arttığı gözlenmiştir. Sensörden alınan veriye göre engellerin merkezlerinin ve sınırlarının hesaplanması, akabinde bu verilere göre rota çizilmesini içeren bir algoritma tanımlanmıştır. Sensör test edilmek amacıyla 4 tekerli bir robotun üstüne yerleştirilmiştir. Robota, engel tespit ve sakınma, hedefe ulaşma, engellerin bulunduğu ortamda hareketsiz hedefe ve engellerin bulunduğu ortamda hareketli hedefe ulaşma olmak üzere 4 farklı test senaryosu uygulanmıştır. Robotun testlerde başarılı olduğu belirtilmiştir.



Resim 2.8. Otonom navigasyon amacıyla oluşturulmuş bir böcek gözü sensör [5]

Marefat ve arkadaşları çalışmalarında [8] böcek gözü mimarisine sahip kompozit bir sensör geliştirmişlerdir. Sensör daire şeklinde bir anakart, bu kart üzerine, merkezlerinden, dik bir şekilde takılan çeyrek daire şeklindeki sensör kartları ve bu kartların üzerine takılan fotoreseptörlerden oluşmaktadır. Anakart 32 adet sensör kartını desteklemektedir, ve her sensör kartının üzerine 8 adet reseptör takılabilmektedir. Ancak araştırmacılar test senaryolarında 16 sensör kartı kullanmayı tercih etmişlerdir, bu da 128 adet görsel kanaldan oluşan bir sensör elde edilmesiyle sonuçlanmıştır. Sonuç olarak 360 (y) x 180 (d) derecelik görüş açısına sahip bir sensör elde edilmiştir. Sensör saniyede 90 çerçevelik kayıt yapabilmektedir. Sonuç olarak düşük maliyetli, düşük güç tüketimine sahip bir sistem geliştirilmiştir.



Resim 2.9. Çalışma kapsamında sunulan tasarımın 144 reseptörle gerçekleştirilmiş hali. a) tamamlanmış sensörün üstten görünüşü b) kullanılan anakart c) kullanılan sensör kartları [8]

Çalışmalar dizisi [11-16] kapsamında geliştirilen yaklaşım, kompozit sensörlerin görüş alanını geliştirmeye yöneliktir ve böcek gözü mimarisini kullanır. Panoptic Kamera [15,2013] olarak adlandırılan bu kompozit sensör çok sayıda sensörden gelen veriler görüntü işleme algoritmaları kullanılarak tek bir resim haline getirilir. Önerilen sensör 4 tabakadan oluşmaktadır. En üstte sensörler tabakası bulunur, bu tabakada göz yuvarlağı örnek alınarak geliştirilen eğimli bir yüzey üzerine konulan algılayıcı cmos sensörlerden oluşur. Önerilen sensör her biri 352 x 288 piksellik çözünürlükte görüntüleme sağlayan 100 sensörü desteklemektedir. İkinci tabakada sensörlere bağlı olan ve görüntü işlemekten sorumlu olan FPGA kartları bulunur. Bu kartlardan her biri 20 adet sensörden gelen veriyi paralel bir şekilde saniyede 25 çerçevelik bir hızla işleyebilmektedir. 3. tabaka 2. tabakadan bulunan FPGA'leri yöneten tek FPGA kartından oluşur, son tabaka ise kullanıcı arayüzüdür. Yapılan testler sonucunda 1024 x 307 piksellik çözünürlüğe sahip bir yönsüz bir görüntü elde edilmiştir [11,2011]. Panoptic kameraya, resimlerin birleştirilmesi için kullanılacak farklı algoritmalar eklenerek çalışma ilerletilmiştir [12,13,14]. Testler 15 ve 30 kameradan oluşan formasyonlarda yapılmıştır. Performans açısından FPGA kartı başına 6.25 milyon piksellik işlem kapasitesi olduğu belirtilmiştir. Bu performans, sonraki çalışmalarında Gauss Image Blending algoritmasının uygulanması ile kart başına 6.6 milyon piksele çıkmıştır [16].



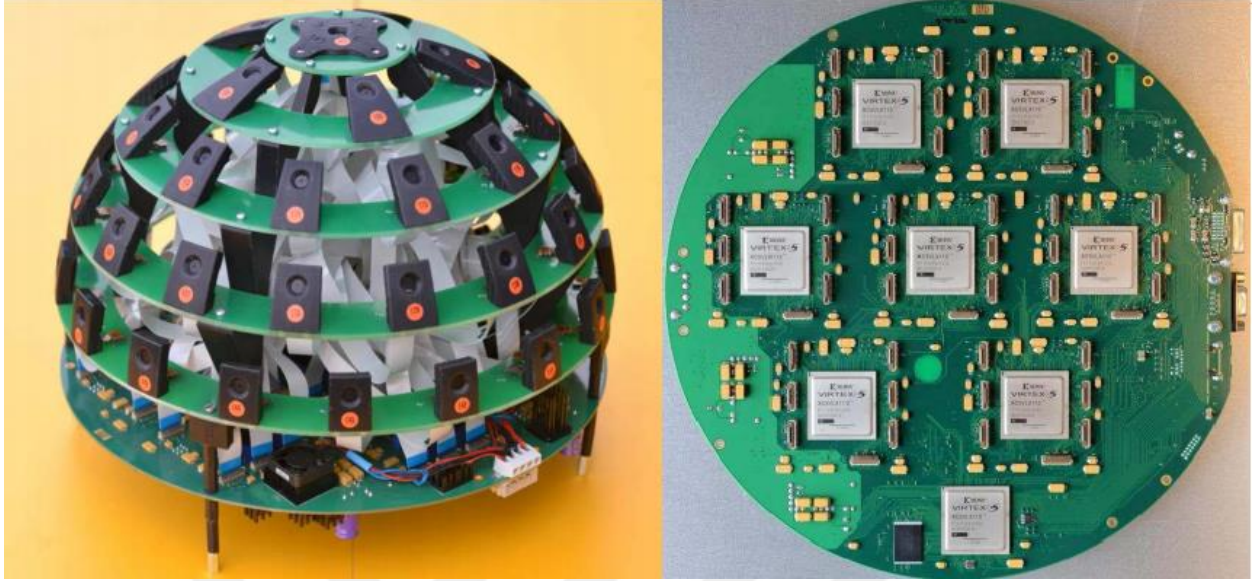
Resim.2.10. Panoptic Kamera a) üzerine kameraların yerleştirildiği küresel yüzey b) kameraların küresel yüzeyin iç tarafına yerleştirilmesi c) 30 kameradan oluşan 13 cm çaplı test prototipi d) 15 kameradan oluşan 3 cm çaplı test prototipi. [15]

Akin ve arkadaşları çalışmaları kapsamında [17] OMNI-R adı verilen yüksek çözünürlük ve geniş görüş açısına sahip böcek gözü mimarisine sahip kompozit kamera geliştirilmişlerdir. Kamera 4 tabakadan oluşan bir yapıdadır. İlk tabaka eğimli yüzey ve bunu üzerine yerleştirilen kamera-lens çiftlerinden oluşmaktadır. İkinci tabaka elde edilen görüntüleri kodlayan ve 3. tabakayı oluşturan SSD'lere kaydeden FPGA kartlarından oluşmaktadır. Geliştirilen kamera ilk tabakada 44 kamera bulundurmaktadır. Bu kameraların her biri 5 megapiksellik bir çözünürlüğe sahiptir. Toplam olarak 220 megapiksellik çözünürlük beklense dahi kameraların görüş alanlarının kesişmelerinden dolayı düşmüştür. Ayrıca 2. tabakada oluşan şişe ağzından dolayı sistemin elde edilen video hızı düşmüştür. Kamera 21 megapiksellik çözünürlükte saniyede 30 çerçeve kaydedebilmektedir, çözünürlük 80 megapiksele çekildiğinde ise bu değer saniyede 9 çerçeveye düşmektedir.



Resim 2.11. OMNI-R [17]

Seyid ve arkadaşları çalışmaları kapsamında [18] yönsüz video elde etmek amacıyla geliştirilen böcek gözü kamera sunmuşlardır. Önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada kameralar birbirine mesh ağ yapısı ile bağlanmıştır. Bu bağlantılar FPGA'ler ile sağlanmıştır, her 7 kamera arayüzüne bir köle FPGA atanmıştır ve toplam sayısı 7 olan köle FPGA kartları bir yönetici FPGA kartı ile kontrol edilmektedir. Test sonuçlarında belirtildiği üzere 2014 x 256 piksellik çözünürlüğe sahip çok yönlü video, saniyede 25 çerçevelik bir hızda elde edilebilmiştir.



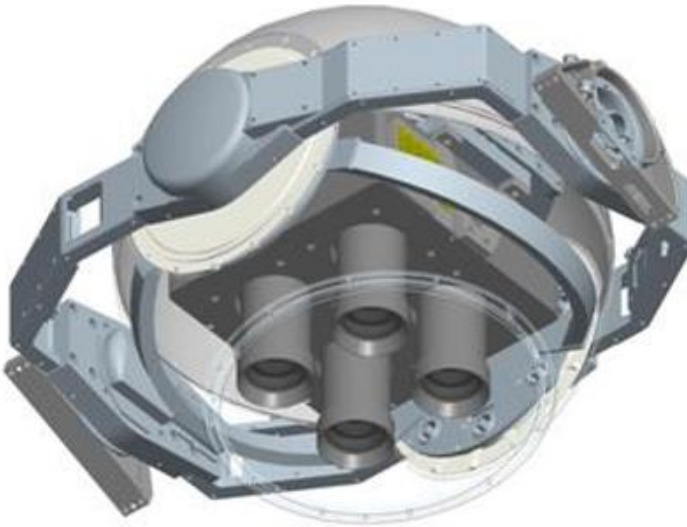
Resim 2.12. Çalışma kapsamında geliştirilen 49 kamera içeren kompozit sensör, a) üstten ve b) alttan görüntü [18]

Cogal ve arkadaşları çalışmalarında [23] GigaEye-1 adı verilen sensör geliştirilmişlerdir. Bu sensör 44 adet görsel sensör, 22 adet işleyici FPGA kartı ve videoların kaydı için kullanılan 22 adet SSD diskten oluşmaktadır. Yapı olarak [17] ile benzer olan sensör 82.3 megapikselli çözünürlükte saniyede 9.5 çerçeve, 21.6 megapikselli çözünürlükte ise saniyede 30 çerçeve kayıt yapabilmektedir. Testler bir IHA üzerinde yapılmıştır.

Çalışma [58] kapsamında ev sineğinin görüntüleme ve beyin sistemi örnek alınarak navigasyon görevleri akılda tutularak bir robot tasarlanmıştır. Tamamen donanımsal olarak tasarlanan sistem yüzük şeklindedir ve içiçe bir yapıda olacak şekilde konumlandırılmış 4 tabakadan oluşmaktadır. Tabakalar dıştan içe doğru lenslerden oluşan optik tabaka, reseptörlerden oluşan tabaka, EMD tabakası ve çarpışmayı önlemek ile görevli anticollision tabakasından oluşmaktadır. Tabakalar arasında sayılmayan en iç tarafta ise anticollision tabakasından gelen bilgiye göre motoru ilerleten yönlendirme ve ilerletme motorları bulunmaktadır. 2 boyutlu şekilde çalışan robot test senaryolarında başarılı sonuçlar vermiştir. Çalışmanın önemi böceklerdeki gibi tamamen paralel bir sistemle çalışması ve tüm resmi görmeden navigasyon kararlarını vermesidir.

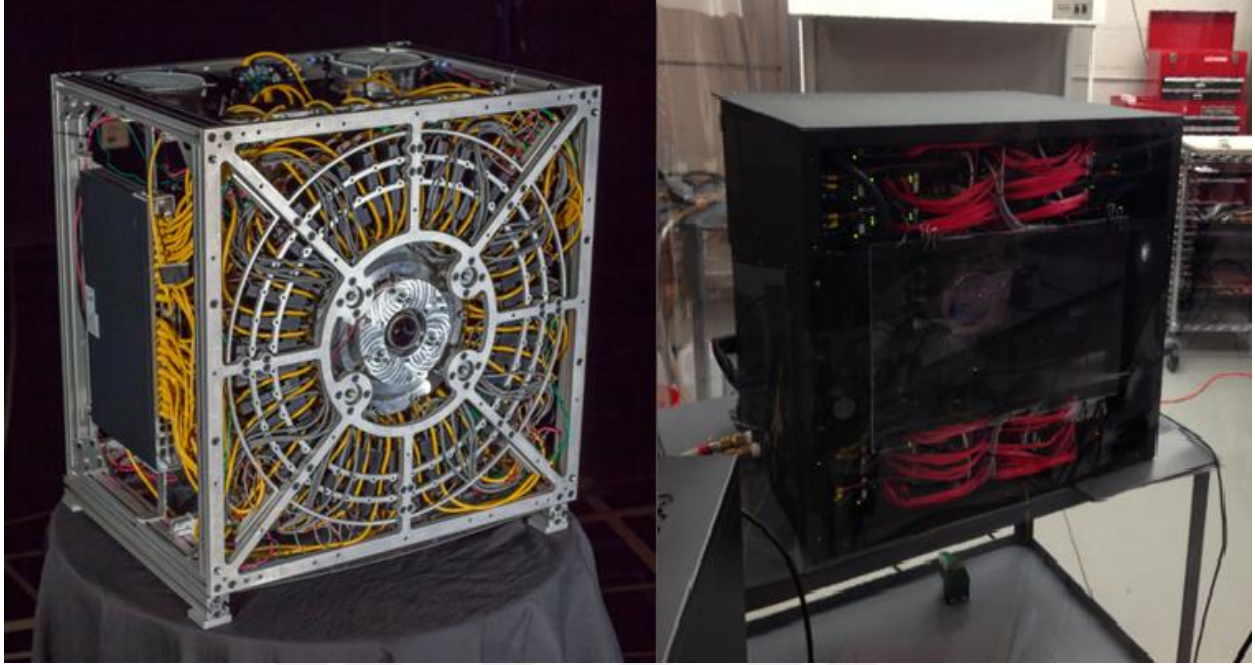
Çalışma [62] kapsamında, adi ev sineğinin göz yapısı örnek alınarak bir sensör geliştirilmiştir. Hexagonal yapıda geliştirilen sensörde toplam 7 piksellik bir yapı oluşturulmuştur. Önceki benzer çalışmalara göre SNR değerinin yükseldiği kaydedilmiştir.

ARGUS IS, BAE Systems şirketi tarafından DARPA için geliştirilen çok yüksek ve geniş görüş alanına sahip yeni nesil bir gözetleme sistemidir [26]. Kompozit sensörü yapı olarak 4 alt sensörden oluşur. Her bir alt-sensör 92 adet 5 megapiksel çözünürlüğe sahip sensörden oluşmaktadır ve 460 megapiksel çözünürlükte çerçeveler yaratır. Bu alt-sensörlerden gelen çerçevelerin birleştirilmesi ile 1.8 gigapiksellik çerçeveler oluşturulur, bu çerçevelerin ardarda sıralanması ile video oluşturulur. ARGUS IS saniyede 12 çerçevelik bir hızda kayıt yapabilmektedir. Ayrıca sistem gerçek zamanlı olarak araba ve insan takibini otomatize şekilde yapabilmektedir. 2007 yılında başlayan ve 30 aylık bir kontrat proje toplam 18.5 milyon dolarlık bir bütçe ile gerçekleştirilmiştir. İlk testler Sikorsky UH-60 Black Hawk helikopteri üzerinde yapılmıştır ve başarılı sonuç vermiştir. Ardından sensör insansız hava araçlarına uyarlanmış ve Gorgon Stare projesinin ikinci aşaması haline gelmiştir 2014'ün başından beri General Atomics MQ-9 Reaper (Predator B) insansız hava araçları üzerinde Afganistan'da kullanılmaktadır.



Resim. 2.13. ARGUS IS gözetleme sisteminin görüntü yakalama birimi. 4 adet alt görüntüleme sistemi açıkça görülebilmektedir [26].

Aware Programı DARPA tarafından geliştirilen çok yüksek çözünürlüklü ve geniş görüş açılı fotoğraf çekebilen kamera geliştirme projesidir. Proje kapsamında geliştirilen tasarım ortada bir top lens olacak şekilde, bu topun merkezine yönelecek şekilde yerleştirilmiş çok sayıda kamera ve bu kameraların üzerinde yerleştirildiği yarı çember şeklinde içbükey bir yüzeyi kullanır. Bu tasarım ile 100 megapikselden 50 gigapiksele kadar kompozit sensör geliştirilebileceği belirtilmiştir [28]. Bu kapsamda öncelikle 2011 yılında birinci nesil AWARE2 sensörü geliştirilmiştir. Bu sensör 98 adet 14 megapikselli kameradan oluşmaktadır, 1.3 gigapikselli veri akışını birleştirerek 0.96 gigapikselli resim oluşturmaktadır [30,33]. AWARE2'nin görüş açısı 120 (Y) x 40 (D) derecedir. Bir süre sonra AWARE2 revize edilerek 2. nesil AWARE 2 sunulmuştur. 2013 yılının nisan ayında ışığa çıkan AWARE2 226 adet 14 megapikselli sensör bulundurmaktadır, 3.1 gigapikselli veri akışını birleştirerek 2 gigapikselli bir resim oluşturmaktadır [27]. Proje kapsamında daha sonra AWARE10 sensörü geliştirilmiştir. 382 adet 14 megapikselli sensörden oluşan kompozit sensör 100 (Y) x 60 (D) derecelik görüş alanına ve 2 gigapikselli çözünürlüğe sahiptir [31,32]. Full kapasitede kullanıldığında AWARE10 tasarımının 10 gigapiksel çözünürlüğe kadar desteklendiği belirtilmiştir [34]. Program kapsamında geliştirilen son kompozit sensör ise AWARE40'tır. Bahsi geçen sensör AWARE40 tasarımını test etmek amacıyla düşük kapasitede yapılmış bir prototiptir. 262 adet 14 megapiksel çözünürlüğe sahip sensör içeren kompozit sensörün görüş alanı 36 derecedir ve 2.4 gigapiksel çözünürlükte çekim yapabilmektedir. Tam kapasite ile kullanıldığında bu değerler 100 derecelik görüş açısına ve 40 gigapiksel çözünürlüğe çıkacağı belirtilmiştir [34,35]. Bahsi geçen son sensör ise MOAC (Mother of All Cameras)'tır. Daha geliştirme aşamasında olan sensörün 8.5 gigapiksel çözünürlüğe ve 100 (Y) x 65 (D) derecelik çözünürlüğe sahip olması beklenmektedir [34].



Resim 2.14. Aware Programı kapsamında geliştirilen sensörler a) AWARE-2 Sensörü b) AWARE-10 Sensörü

Çizelge 2.3. AWARE Programı kapsamında geliştirilen kameraların özellikleri.

İsim	Durum	Kamera Sayısı	Sistem Çözünürlüğü	Sistem Görüş Açısı
AWARE2	Geliştirilen Prototip	98	0.98 GP	120 (Y) x 40 (D)
AWARE2	Tam Tasarım	226	2 GP	N/A
AWARE10	Geliştirilen Prototip	382	2 GP	100 (Y) x 60 (D)
AWARE10	Tam Tasarım	N/A	10 GP	N/A
AWARE40	Geliştirilen Prototip	262	2.4 GP	36 (K)
AWARE40	Tam Tasarım	N/A	40 GP	100 (K)
MOAC	Tasarım	N/A	8.5 GP	100 (Y) x 65 (D)
QG Kamera	Son Ürün	34	253 MP	50 (Y) x 24 (D)

Aqueti şirketine ait “qg camera” adı ürün daha önce bahsedilen AWARE tasarımını [27-35] kullanmaktadır. AWARE programı kapsamında geliştirilen sensörlere ek olarak video kayıt fonksiyonunu da sağlamaktadır. Sensör 50 (Y) x 24 (D) derecelik görüş açısına ve 23,000 (Y) x

11,000 (Y) piksellik (253 megapiksel) çözünürlüğe sahiptir. En yüksek çözünürlükte saniyede 6 çerçevelik bir video sağlayabilmektedir, çözünürlük yarıya indiğinde ise bu hız saniyede 24 çerçeveye çıkmaktadır [37].



Resim 2.15. QG Kamera [37]

Çizelge 2.4. Böcek gözü mimarisindeki sistemlerin özellikleri

Referans	Konfigürasyon	Kamera Çözünürlüğü	Sistem Çözünürlüğü	Sistem Görüş Açısı	FPS
Aldalali [1]	3 x 1	250 x 250 (0.06 MP)	643 x 366 (0.23 MP)	Değişken. 130 (Y)'a kadar	-
Cossairt [4]	5 x 1	N/A (5 MP)	14.000 x 11.000 (14 MP)	15 (Y) x 2 (D)	-
Marefat [8]	128'lik Çembersel Konfigürasyon	-Fotoreseptör-	-	360 (Y) x 180 (D)	90
Afshari, Akin, Popovic [11-16]	15 ve 30'luk Çembersel Konfigürasyon	352 x 288 (0.1 MP)	1024 x 307 (0.3 MP)	360 (Y) x 180 (D)	-
Akin [17]	44'lük Çembersel Konfigürasyon	N/A	N/A (21 MP)	360 (Y) x 180 (D)	30
			N/A (80 MP)		9
Seyid [18]	49'luk Çembersel Konfigürasyon	N/A	2014 x 256 (0.5MP)	360 (Y) x 180 (D)	25
Cogal [23]	44'lük Çembersel Konfigürasyon	N/A	N/A (21.3 MP)	360 (Y) x 180 (D)	30
			N/A (82.3 MP)		9.5
Leinenger [26]	Her birinde 92 kamera bulunduran 2 x 2'lik Konfigürasyon	N/A (5 MP)	N/A (1.8 GP)	N/A	12

2.3. Ayna Destekli Sistemler

Çalışma kapsamında [38] panoramik fotoğraf çekebilecek bir sensör tasarımı yapılmıştır. Bu sensör altı yüzlü piramid aynalardan yararlanır. 6 tane kamera bu aynalara odaklanacak şekilde yerleştirilerek aynaların yansıtıklarını kaydetmeleri sağlanmıştır ve bu yapı alt görüntüleme sistemi olarak adlandırılmıştır. Alt görüntüleme sistemi, sadece piramidin tabanından üstünü görüntüleyebilmektedir. Bundan dolayı ikinci bir alt-görüntüleme sistemi, ilki ile tabanları birbirine bakacak şekilde hizalanarak, sensörün alt kısmında kalan alanları görüntülemek için kullanılmıştır. Böylece kompozit sensör oluşturulmuştur. Sensör saniyede 30 Hz frekansı ile fotoğraf çekebilmektedir. Araştırmacılar çalışma kapsamında geliştirilen sensörü sanal gerçeklik alanına uyarlamışlardır. Sensörden alınan resimleri kullanarak bir sanal gerçeklik monitörü elde etmişlerdir. Bu silindirik monitöre CYLINDRA adını vermişlerdir [37].



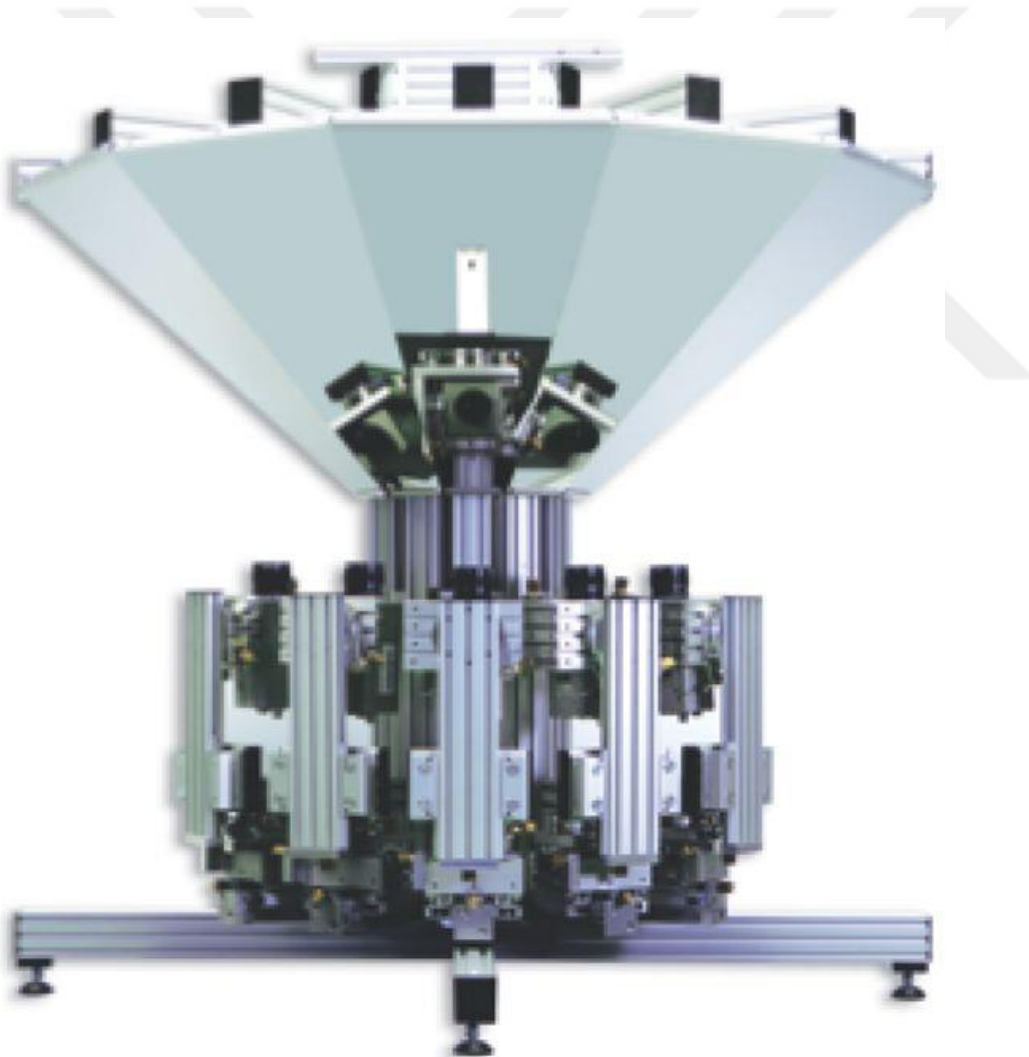
Resim 2.16 Kawanishi ve arkadaşları tarafından geliştirilen sensör [37]

Hua ve arkadaşları tarafında yürütülen çalışma dizisinde [38-40] kapsamında görüş alanını genişletmek için aynaların kullanılması fikri işlenmiştir. 6 yüzlü (hexagonal) piramid ayna kullanılmıştır. Aynanın her yüzeyine bir kamera yönlendirilerek 360 derecelik tüm yatay görüş açısının kapsanması planlanmıştır. Ayrıca dikey görüş açısının da iki katına çıkarılması amacıyla özdeş bir ayna da, tabanları birleşecek şekilde ilk aynaya eklenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kameralar 640 x 480 piksellik çözünürlüğe, 60 (Y) x 40 (D) görüş açısına sahip CCD kameralardır. Böylece birleşik ayna yapısının 360 (y) x 80 (D) derecelik görüş açısına sahip olması sağlanmıştır. Test senaryosu olarak 2'si alt aynanın, 2'si de üst aynanın komşu yüzeylerine odaklanacak şekilde bir konfigürasyon denenmiştir [40]. Araştırmacılar önceki çalışmalarından farklı olarak, her yüzey için 2 kamera kullanılmasını öngören bir öneride bulunmuşlardır. Bir kamera yüzeye odaklanırken, ikinci bir kamera da o yüzeyin yan yüzeyle olan birleşme noktasına odaklanır. Böylece farklı görüş açılarının birleşmeleri de kayıt altına alınır ve panorama oluşturmada kullanılır. Test için 6 yüzlü bir piramide ve 4 kameraya sahip bir konfigürasyon kullanılmıştır ve tam bir panorama için 12 kamera gerekmektedir [38]. Araştırmacılar daha sonra önceki iki çalışmalarının özgün noktaları olan çift piramid kullanımı [40] ve kesişim noktalarının kayıt altına alınmasını [38] harmanlayan bir çalışma yapmışlardır. Test için 4 kamera kullanılmıştır, tam bir panorama elde edilmesi için gerekli olan kamera sayısının 24 olduğu belirtilmiştir.



Resim 2.17. Uha ve Tan tarafından geliştirilen sensörün [39,41] 4 kameralı konfigürasyonu [40]

FascinatE (Format-Agnostic Script Based Interactive Experience), Avrupa birliği tarafından finanse edilen bir projedir. Projenin amacı, kullanıcıların canlı olayları uzaktan, yüksek çözünürlükte ve interaktif bir şekilde görüntüleyebilmesini sağlayacak bir ortam oluşturulmasıdır. Proje kapsamında geliştirilen 2D Omnicam, 25 Hertz'lik frekans ile gerçek zamanlı 180 derecelik görüş açısına sahip panoramik video kaydı yapabilmektedir. Video 6 adet yüksek çözünürlüklü kameradan gelen videoların gerçek zamanlı birleştirilmesi ile elde edilmektedir ve birleşmiş şekilde 7000 x 1920 piksellik bir çözünürlüğe sahiptir [43].



Resim 2.18. FascinatE Projesi kapsamında geliştirilmiş, yüksek çözünürlüklü panoramik video kaydı ve yayını yapan “2D OmniCam” sensörü [44]

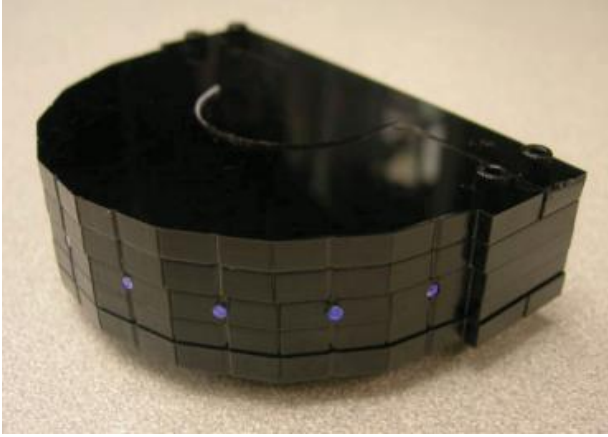
Çizelge 2.5. Ayna destekli sistemlerin özellikleri

Referans	Ayna Yüzey Sayısı	Kamera Sayısı	Kamera Görüş Açısı	Sistem Görüş Açısı
Kawanashi ve Shimamura [37,41]	2	12	N/A	360 (Y)
Hua [40]	12	4	60 (Y) x 40 (D)	120 (Y) x 80 (D)
Hua [40]	12	12	60 (Y) x 40 (D)	360 (Y) x 80 (D)
Tan [40]	12	4	60 (Y) x 40 (D)	120 (Y) x 80 (D)
Tan [40]	12	12	60 (Y) x 40 (D)	360 (Y) x 80 (D)
Fischler ve Schreer [42,43]	6	6	N/A	180 (Y)

2.4. Mikrolens Dizileri

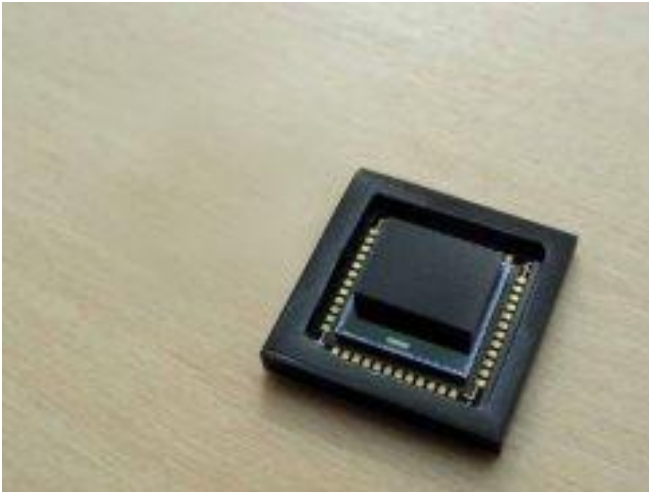
Çalışma [45] kapsamında tek bir sensörün görüş açısını arttıracak bir mikrolens dizisi geliştirilmiştir. 5 x 5 konfigürasyonunda düzenlenen 25 adet mikrolensten olan dizi 124 (K) derecelik görüş açısı sağlamıştır.

Çalışma [46] kapsamında böcek gözü prensiplerinin uygulanması adına tek bir görsel sensör ile GRIN lensleri dizisi kullanımı önerilmiştir. GRIN lenslerinin fiyatlarının düşük olduğu ve sensör dizilerine göre daha küçük yer kapladıkları belirtilmiştir. Bu tasarım gerekçeleri belirtildikten sonra bir prototip geliştirilmiştir. Her biri 20 derecelik görüş açısına sahip 9 lensten oluşan bir dizi ve bir camera ile testler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Krill-Eye ile bozulmasız, homojen bir görüntü elde edilebileceği belirtilmiştir.



Resim 2.19. GRIN lenslerle geliştirilen Krill Eye kompozit lensinin 9 alt lensten oluşan prototipi [46]

Çalışma [47] kapsamında eCley isimli sensör geliştirilmiştir. Sensör bir 3 megapikselli CMOS sensör ve mikrolens dizisinden oluşmaktadır. Dizi 17 x 13 konfigürasyonunda dizilmiş 224 lensten oluşmaktadır. Her lens 39 x 39 piksellik kalitede bir görsel kanal sağlamaktadır. Bu kanalların toplamında 700 x 550 piksellik bir resim elde edilmiştir.



Resim 2.20. eCley [47]

Çalışma [48] kapsamında MEMS teknolojisi kullanılarak 9 x 9 array konfigürasyonunda bir mikro lens dizisi oluşturulmuştur. Görüş açısını yükseltmek amacıyla oluşturulan ve boyutu 9 mm x 9

mm olan küçük boyutlu dizi, 1280 x 1024 piksellik çözünürlüğe sahip bir CMOS kamera yardımıyla test edilmiştir. Elde edilen resmin kalitesinin, resim birleştirme için kullanılan algorithmadan dolayı düşük kaldığı belirtilmiştir.

Çalışma kapsamında 2 farklı tasarım sunulmuştur. Bunlardan ilki olan -cluster eye- 25 (Y) x 3 (D) mikro lensten oluşan bir yapıya ve 90 (Y) x 10 (D) derecelik bir görüş alanına sahiptir [50]. İkinci sensör olan -artificial apposition eye- 3 katlı bir yapıya sahiptir. Bir pinhole katmanı, bir lens dizisi katmanını ve CCD sensör tabakaları. 11 x 11'den 101 x 101'e kadar çeşitli görsel kanal sayıları ile testler yapılmıştır. Sensörün 21 (K) derecelik görüş açısına sahip olduğu belirtilmiştir [50,51,52].

Çizelge 2.6. Mikrolens dizilerinin özellikleri

Referans	İsim	Konfigürasyon	Görsel Kanal Sayısı	Görüş Açısı
45	N/A	5 x 5	25	124 (K)
46	Krill Eye	1 x 9	9	180 (Y) x 20 (D)
47	eCley	17 x 13	224	
48	N/A	9 x 9	81	
49	Cluster Eye	25 x 3	75	90 (Y) x 10 (D)
50,52	Artificial Apposition Eye	11 x 11 – 101 x 101	121 - 10201	21 (K)

3. BÖCEK GÖZÜ SİSTEMLER

Çok sayıda görsel kanaldan gelen görsel bilgilerin paralel bir şekilde kullanılmasına dayanan böcek gözü mimarisine dair ilk kalıntılar Kambriyen döneminden kalan eklembacaklı ve kabuklu fosillerine dayanmaktadır [57]. Mükemmelleşmiş böcek gözlerinin ortaya çıkmaya başladığı bu noktadan itibaren, kendi habitatına ve koşullarına adapte olmak adına bütün türler kendilerine özgü yapıları geliştirmiştir. Bu çeşitli göz yapıları bir çok modern bilgisayar görüşü problemine çözüm getirebilmek adına çözüm yolları sunmaktadır [58,59,67].

3.1. Böcek Gözü Mimarisi

Böcek gözleri, yapı olarak çok sayıda paralel görsel kanaldan oluşur. Bir çok kanaldan toplanan verilerin kombinasyonu ise böceğin görme yeteneğini oluşturur. Bu kanallı yapı evrim sürecinde, cinsin ihtiyaçlarına ve bulunduğu ortama göre çeşitlenmiştir. Bu çeşitlenme sonucunda görüş alanı, çözünürlük, keskinlik, hız gibi alanlarda başarılı sonuç veren bir çok göz yapısı oluşmuştur.

Evrim sürecinde, bu kanallı yapı böceğin bulunduğu ortama göre çeşitlenmiştir. Bunun sonucunda, farklı habitatlarda böceğin yaşamını kolaylaştıracak farklı mimariler çıkmıştır.

3.1.1. Apozisyon göz mimarisi

Apozisyon göz mimarisinde, göz yuvarlağının üzerinde bulunan her lens kendi sinir yumağına (rhaddum) sahiptir ve ışığı bu sinir yumağına odaklar. Lens, görsel kanal ve sinir yumağından oluşan bu yapıya literatürde ommaditia adı verilmektedir. Kompozit gözün sahip olduğu görüş açısı, çok sayıda görüş kanallarının görüş açılarının toplanmasına eşittir [66]. Apozisyon gözlerde bu kanallar pigment duvarları ile birbirinden ayrılmıştır. Böylece kanallar arası ışık geçişleri olmaz ve hayalet etkisi gibi görüntü kalitesini bozacak durumlarla karşılaşmaz [66].

Doğaya bakıldığında çok farklı sayılarda kanal sayısına sahip gözlere rastlanmaktadır. Meyve sinekleri her gözde 200-300 kanala sahipken [66], bu sayı doğadaki bazı böceklerde göz başına 30.000'leri bulmaktadır [57]. Bu durumun nedeni apozisyon gözlerin tamamen paralel yapısıdır. Genel görüş alanının yaratacağı büyük resim yerine bir çok küçük resim eş zamanlı olarak işlenir.

Böylece görme işleminin hızı artar. Böcek daha hızlı görür ve daha hızlı tepki verir. Buna ek olarak apozisyon göz mimarisine sahip gözler geniş görüş açısına sahiptir. Yusufçukların gözlerinin arka tarafı ve vücudunun kapattığı bölge dışındaki tüm çevresini görebildiği kaydedilmiştir. Hem görüş alanı yüksek olmasından, hem de görüntü işleme hızının yüksek olmasından anlaşılabileceği üzere apozisyon gözler yüksek hareket gereksinimine sahip böceklerde görülmektedir.

Bu konudaki en güzel örneklerden biri [64] çalışmada verilmiştir. Lockheed Martin Havacılık firması tarafından geliştirilen “F-35 Müsterek Muharebe Uçağı” geliştirilmiş en gelişmiş savaş uçaklarından biridir [64]. Her birinin boyutu ayakkabı kutusu kadar olan 3 bilgisayarda çalışan, milyon satırlık koddan oluşan bir navigasyon yazılımına sahiptir. Ancak F-35, bu kadar teknolojik yapısına rağmen gerçek zamanlı navigasyon açısından normal bir ev sineğinden geride kalmaktadır [64].

3.1.2. Süperpozisyon göz mimarisi

Sinirsel Superpozisyon

Sinirsel superpozisyon gözlerde apozisyon ile benzer bir şekilde bağımsız görsel kanallar vardır. Apozisyon gözlerde her kanalda bulunan lensler ışığı tek bir sinir düğümüne tek bir açıdan düşürürler. Sinirsel superpozisyon gözlerde ise görselin kanalında çok sayıda sinir düğümü bulunur. Görsel kanala giren ışıklar farklı açılardan ve çok sayıda düğüm tarafından alınır. Görüş kanalından çıkarılan sonuç sinir düğümlerinden gelen verilen kombinasyonu ile bulunur. Bu noktada ışın içine görüntü işleme de girer ve böcek gözleri arasında bunu gerektiren tek göz tipi sinirsel superpozisyonudur

Bu göz tipinin sağladığı başlıca avantaj, ışığın verimli kullanılması ve çok sayıda sinirden gelen verilerin harmanlanmasında dolayı düşük ışığa sahip ortamlarda yüksek hassasiyete sahip görüş sağlamasıdır. Ancak düşük çözünürlük ve keskinliğe sahip görüş elde edilir.

Optik Superpozisyon

Optical superpozisyon gözlerde bağımsız görsel kanallar bulunmaz. Apozisyon gözlerdeki gibi her kanalın sonunda tek bir düğüm bulunur. Sinirsel superpozisyon gözlerdeki gibi bir lensten gelen ışık çok sayıda düğüme iletilir. Bu iki açıdan bahsi geçen diğer göz mimarisine benzemektedir. Ancak farklı olarak kırılan veya yansıtılan ışık komşu görsel kanallara da gider. Bu açıdan da diğer mimarilerle farklılık göstermektedir.

Sinirsel superpozisyon gözler ile benzer şekilde düşük ışıklandırılmış ortamlarda yüksek performans vermektedir.

3.2. Böcek Gözü Mimarisinin Avantajları

Görüş açısı bir görsel sensörün veya görme organının görüntüleyebildiği çevresinin tüm çevresine oranı olarak tanımlanır. Böcekler doğada hem avcı hem de av olarak bulunabilmektedir. Yırtıcıların veya avların tespiti için olabildiğince yüksek görüş alanına sahip olmak böcekler için önemlidir. Bu yüzden böcek gözleri bu yönde evrilmiştir. Özellikle apozisyon göz mimarisine sahip böceklerde görüş alanı, insan gözüne oranla çok daha geniştir [63].

Çözünürlük bir görselin detay seviyesi olarak tanımlanabilir. Yüksek çözünürlük sayesinde daha uzak noktalar ayrıntılı bir şekilde görüntülenebilir. Bu açıdan gözün sahip olduğu çözünürlük av, avcı tespiti, navigasyon rotalarının çizilmesi gibi bir çok alanda böceğe yardımcı olur. Belirtilmesi gerekir ki böcek gözleri memeli veya diğer omurgalı gözlerine göre çok daha düşük çözünürlüğe sahiptir [60]. En gelişmiş böcek gözlerinin bile insan gözüne oranla 100 kat daha detay yoksunu görsel elde ettiği kaydedilmiştir [57,63].

Ancak avantajların dezavantajlara dönüştüğü bir nokta vardır. Bilgisayarla görme alanında olduğu gibi işlenecek görsel büyüdükçe onu işleyecek olan işlemcinin de kapasitesi artmalıdır. Çok yüksek çözünürlük ve geniş görüş alanı, elde edilen görsel veri işlenmediği sürece bu anlam ifade etmemektedir. Bu noktada böcek gözü mimarisinin bir başka özelliği karşımıza çıkmaktadır. Daha sonra açıklanacağı üzere böceklerde görsel verinin işlenmesi paralel bir şekilde yapılır [58,59,61]. Böylece çok basit sinirsel yapılarla çok kompleks sahneler sürekli bir şekilde işlenebilir [64].

Paralel veri işleme, yüksek boyutlardaki verilerin işlenmesine olanak sağlamasına ek olarak görüntü işlemenin aldığı süreyi de kısaltır. Sinirler sadece kendilerine bağlı olan sensörden gelen verilerle ilgilenir, böylece kompleks görüntü işleme metodlarına girilmez ve sonuçlar hızlı bir şekilde oluşturulur [59,60]. Sonuç olarak böcek çevresindeki değişimleri daha hızlı görür ve onlara daha hızlı reaksiyon gösterir [63,65]. Bu paralel yapı beraberinde ölçeklenebilirliği de getirmektedir. Beyin kapasitesinde çok yüksek bir artış olmadan gözler evrimsel süreçte büyüme fırsatı bulmuştur [64].

Keskinlik, insan görüş prensipleri göz önüne alındığında “görüş alanındaki gözlemlenebilir en küçük açı” olarak tanımlanmıştır. En çok kabul edilen bu tanımın yanısıra “gözlemlenebilir en küçük nesne” [56], “ayrıt edilebilen en küçük nesne” [56] ve “görsel konumlamamanın hassasiyeti” [64] de kullanılan tanımlamalardan bazılarıdır. Keskinliğin yükselmesi, söz konusu böceğin uzakları görme ve işleme yeteneğini artırır. Böylece navigasyon, avlanma ve tehditlerden uzaklaşma konusunda başarı yükselir [56]. Ancak memeli gözleri ile karşılaştırıldığında keskinlik açısından böcek gözleri geride kalmaktadır [60].

Bahsedilen superpozisyon göz mimarisine sahip gözler aynı görüş alanının çok sayıda sinir düğümü tarafından algılanmasını sağlar. Görüş alanının algılanan bölgesi hakkında karar verilirken çok sayıda sinirden gelen verilerin kombinasyonu kullanılır. Ek olarak, ışıqlama süresi –exposure time- artırılır. Bu durum ışığın daha verimli kullanılmasını sağlar, dolayısıyla elde edilen görüntünün kalitesini artırır. Bu nedenlerden ötürü düşük ışık içeren bir ortam olmasına rağmen yüksek keskinlik ve detaya sahip görüntü sağlayabilmektedir. Ancak gözün görmesi için geçen süre artar ve elde edilen görselin kalitesi düşer [61]. Gece böceklerinin gündüze göre 100 milyon kez daha düşük ışıklı ortamlarda bile renkleri algılayabildiği, küçük hareketleri algılayabildiği, kompleks navigasyon görevlerine yerine getirebildiği, çevresini hafızasına kaydedebildiği ve bunları ay veya sadece yıldızların ışıkları ile bile yapabildikleri kaydedilmiştir [61].

Böcek gözlerinin memeli gözlerine göre çok daha geniş bir renk spektrumuna sahip oldukları ve renklere karşı çok daha hassas oldukları belirtilmiştir [63].

4. ALTERNATİF MİMARİLER

Böcek gözü mimarisinin klasik yapıdaki sensörlere üstünlük kurduğu bir çok alan vardır. Çözünürlük (detay seviyesi), paralellik, görüş açısı, bunların başlıcalarıdır. Ancak bu özelliklerin geliştirilmesi için kullanılabilecek başka yöntemler de mevcuttur. Mevzu bahis yöntemlerin birbiri arasında ve böcek gözü yapısı ile arasında güçlü ve zayıf olduğu alanlar bulunmaktadır. Bu bölümde yapılacak açıklamalar tamamen bu ekseninde olacaktır. Öncelikle yöntem basitçe anlatılacak, ardından yöntemler birbiri ile ve böcek gözü ile karşılaştırılarak, avantaj ve dezavantajları belirtilecektir. Belirtmeler literatürde bulunan çalışmalardan alınan sonuçlar ile desteklenecektir.

4.1. PTZ Kameralar

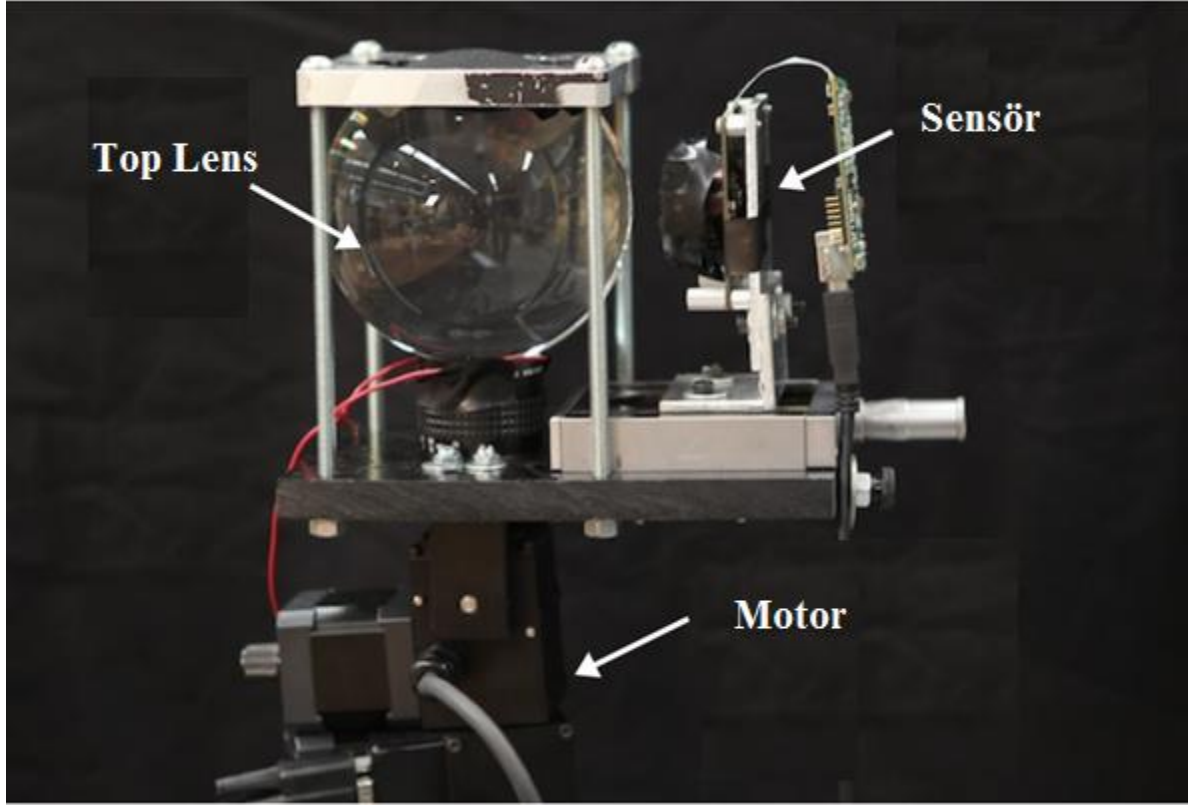
Bu kameralar, bir sensör ve bu sensöre dönme (pan), eğilme (tilt), yaklaşma (zoom) hareketlerini yaptırabilen bir platformdan oluşur. Bu hareketler önceden programlanmış script kodları ile yapılabildiği gibi insan operatör tarafından da gerçekleştirilebilir. Hareketler belirli amaçlara yönelik olarak düzenlenebilir. PTZ kameralar yapılan çalışmalarda, çok yüksek çözünürlüklere geniş görüş açılarına veya bu iki hedefe ulaşmaya çalışılmıştır [4,68].

Yapılan çalışmada çok yüksek çözünürlüklü resim çekilmesi amacıyla PTZ sensörlerin kullanımı gösterilmiştir [68]. Çalışma kapsamında 16 ve 8 megapiksellik kameralar ve bu kameralara zoom lensleri takılmıştır. Sensör, görüş alanının küçük bir kısmına zoom lensi yardımı ile odaklanır. Bu sayede odaklanılan alanın yüksek çözünürlüklü resmi çekilebilir. PTZ kamera bütün görüş alanını tarayacak şekilde programlanarak, gigapiksel çözünürlük hedefine ulaşmaya çalışılmıştır. Her hareket sonrası çekilen resimlerin birbirine dikilmesi ve akabinde renk farklılıklarının giderilmesi sonucunda gigapiksel çözünürlükte resimler elde edilmiştir. 2 farklı test senaryosu çalışmada sunulmuştur. Bunlardan ilki 250 resimin birleştirilmesinden oluşmaktadır, kullanılan resimlerin çekilmesi 30 dakika sürmüştür ve resimlerin birleştirilmesi için 3 saatlik bir görüntü işleme fazı yaşanmıştır. Elde edilen resim 1.2 gigapiksellik çözünürlüğe sahiptir. 2. senaryo ise çekilmesi 90 dakika süren 800 resmin birleştirilmesinden elde edilmiş 4.5 gigapiksellik bir resim ile sonuçlanmıştır. Resmin elde edilmesi için 6 saatlik bir görüntü işleme safhası gerekmiştir.



Resim 4.1. Gigapiksel çözünürlükte resim çekmek için geliştirilen PTZ kamera [68]

Çalışma kapsamında çok yüksek çözünürlük elde edilmesi amacıyla PTZ kamera ve sensör dizisi yapısı kullanılmıştır [4]. PTZ kamera kullanılan mimaride klasik PTZ kameranın önüne bir küre lens konulmuştur. Kameranın 5 megapiksellik çözünürlüğe ve 60 x 40 derecelik görüş açısına sahiptir. PTZ kamera, küre lensin kendine bakan yüzeyinde küçük alanlara odaklanarak tüm yüzeyi tarayacak şekilde programlanmıştır. Bu tarama sonucunda elde edilen çok sayıda resmin birleştirilmesi ile sonuç resim elde edilir. Yapılan test sonucunda 65.000 x 25.000 (1.6 gigapiksel) çözünürlüğe ve 104 x 40 derecelik görüş açısına sahip bir resim elde edilmiştir. PTZ kamera sayesinde hem çözünürlük hem de görüş açısı arttırılmıştır.



Resim 4.2. Gigapiksel çözünürlükte resim çekmek için geliştirilen PTZ kamera [4]

PTZ kameralar incelenen çalışmalarda [4,68] görüldüğü üzere çözünürlük ve görüş alanını geliştirmelerde kullanılabilmektedir. Ayrıca bu çok da yüksek çözünürlüğe sahip olmayan sensörlerden bir tane kullanılması ile olabilmektedir. Bu nedenlerden ötürü maliyetleri özellikle böcek gözü sensörlere ve sensör dizilerine göre çok düşüktür. Bu düşük maliyet ile 5 gigapiksellik resimler çekilebilmektedir. Ancak çok sayıda resim çekilmesi için gereken süre platformun her çekim arası hareket etmesi gerektiğinden dolayı çok yüksektir. Verilen çalışmada çekim ve veri işleme zamanları toplanırsa, 1.2 gigapiksellik bir resim çekilmesi için 3 saat 30 dakikalık bir süre gerektiği belirtilmiştir. Bu platform hareketinin aldığı süre bu yapının video çekimi için kullanılmasını da imkansız kılar.

Yukarıda bahsedilen avantaj ve dezavantajlarda dolayı PTZ kameraların kullanım alanları daha çok gözetleme/izleme ve yüksek kaliteli statik resim çekimlerine odaklanmıştır.

4.2. Dönen Kameralar

Bu kameralar bir sensör ve o sensörün bir eksen etrafında sürekli dönmesini sağlayan bir platformdan oluşur. Sensör dönmeye devam ettikçe sürekli olarak resim çekmeye devam eder, bu çekilen resimlerin birleştirilmesi geniş görüş alanlı bir görsel elde edilir. Çoğunlukla panoramik görüntü elde edilir. Ancak göz önünde bulundurulmalıdır ki, dönen sensörler yüksek hızlarda döndüğünden dolayı sensörlerin ışık topladığı süre düşük olmak zorunda kalır. Bundan dolayı kullanılan sensörler düşük çözünürlüğe sahiptir. Düşük çözünürlüklü görüntü alınmasına ek olarak görselde ghosting effect (hayaletlenme etkisi) şeklinde bozulmalar da görülür. Özetlemek gerekirse, dönen kameralardan alınan görsel geniş bir görüş alanına sahip olmasına rağmen düşük kaliteye sahiptir. Bu düşük kalite görsel olarak tatmin edici değildir, bundan dolayı son kullanıcıya hitap eden eğlence sektörü kullanım alanlarından biri değildir. Ancak düşük kalite bir noktada da avantaja dönüşür, bu nokta görüntü işleme noktasıdır. Düşük veri boyutundan dolayı daha düşük bir işlemsel karmaşıklıkla sorunlar çözülebilir. Buna dönen sensörlerin düşük maliyeti ve geniş görüş açısı da eklenince teknik alanda daha çok kullanım yeri bulmuştur. Robotik görüş buna en iyi örneklerden biridir. Ayrıca tıbbi görüntüleme sistemlerinde de kullanılmaktadır.

4.3. Balık Gözü Lensler

Bu kameralar geniş görüş alanını bir kameranın görüş alanına sığacak şekilde küçülten lenslerle desteklenmiştir. Balık gözü adı verilen bu lensler ile elde edilen görseller karakteristik olarak çemberseldir. Görüş küresinin yarısına yakın bir alanını görüntüleyen bir görsel oluşturur. Elde edilen görsel çembersel yapısından dolayı değişken çözünürlüğe sahiptir. Görüntülenen çemberin tepe kısmında en yüksek olan çözünürlük, ekvatorial bölgeye geldikçe düşer. Buna ek olarak tek bir projeksiyon noktası olmadığından dolayı elde edilen görselin insan perspektifine dönüştürülmesi de zordur. Bu zorluklara rağmen geniş görüş alanına ihtiyaç duyulan robotik görüş alanında yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [69 – 73]. Ancak mobil teknolojinin gelişmesi ile elde edilen ucuz ve kompakt donanımlar sayesinde; maliyeti yüksek, ağır ve görseli tahrip eden balık-gözü lenslerin kullanımı azalmıştır.

4.4. Ayna Destekli Sistemler

Karmaşık lens sistemleri kullanmak yerine aynaların yansıtıcı özelliklerini kullanarak belirli amaçlara ulaşmak literatürde çokça kullanılmıştır. Bu konuda iki farklı yaklaşımla karşılaşılmıştır. Bunların ilki düz yapıdaki aynalardan piramitler kullanılmasıdır. Bu yaklaşım her ayna için en az bir tane de kamera kullanılması gerekliliğini de getirir, bu nedenden dolayı aynı zamanda sensor dizisi yaklaşımını da içerir. Hibrid bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Ayna dizilerini kullanılan çalışmalardan seçilenleri literatür kısmında taranmış ve açıklanmış bulunmaktadır [38 - 44].

Düz ayna piramitlerinden farklı, sensor dizilerine alternatif olabilecek çembersel aynalar bulunmaktadır. Bu aynalar dışbükey yapıda olup, merkezlerine yöneltilmiş olan kameraya, geniş bir görüş alanını yansıtırlar. Ancak optik hesaplamalar doğru yapılmadığı durumlarda, görsellerde astigmatizm ve bulanıklaşma tarzında bozukluklar oluşmaktadır. Literatürde konik [76,77], çembersel [78,79], hiperbolik [80,81] ve parabolik [82,83] şekillere sahip aynalar kullanan çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan konik aynalar panoramik görüntü verirken, diğer 3 tip balık gözü merceklerle benzer şekilde, değişken çözünürlüğe sahip ve tek bir projeksiyon noktasına sahip olmayan görseller yaratır.

Çembersel aynaların ortaya çıkardığı görsellerin karakteristiği, balık gözü lensler ile benzer şekilde yatay çizgilerin görülmesini azaltıp, dikey çizgilerinkini arttırmaktadır [75]. Bu karakteristik özellikle robotik görme ve otonom navigasyon alanında önem taşımaktadır. Bu alanlarda, hareket rotası çizilmesi için engellerin tespit edilmesi gerekir. Bu tespit dikey hatlar yataylara göre çok önem taşımaktadır. Bu nedenle ayna destekli sistemler bu amaçla çokça kullanılmıştır [75-83].

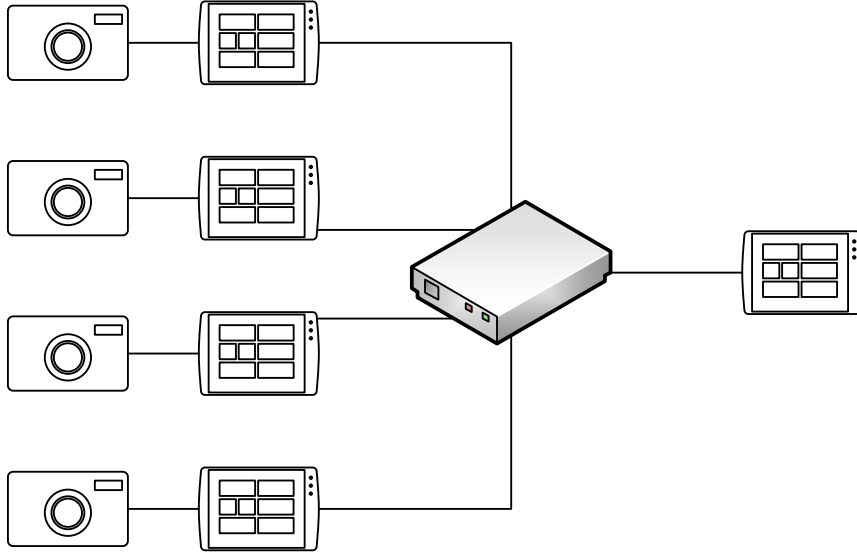


5. GELİŞTİRİLEN SİSTEM

Tez çalışması dijital yaklaşma –Digital Zoom- ile çözünürlüğün ile görüş açısının yükseltilmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaca uygun olarak böcek gözü mimarisindeki sistemler ve alternatifleri incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda böcek gözü mimarisinde bir sistem geliştirilmesinin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Bu karar verilirken; mimarisin uygulanmasının kolaylığı, verimliliği, literatür ve teknolojik eğilimler göz önünde bulundurulmuştur. Maddi imkanlar dahilinde 4 kameradan oluşan bir prototip geliştirilmesine karar verilmiştir.

5.1. Sistem Yapısı

Geliştirilen sistemin yapısı görselde verilmiştir. Sistem 4 adet kamera modülü, 4 adet kayıt işlemini yapan kart, veri iletişiminin üzerinden aktığı gigabitlik yönlendirici ve görüntü işleme işlerinin gerçekleştirildiği kontrol kartından oluşmaktadır. Bu kart proje kapsamında dizüstü bilgisayar olarak gerçekleştirilmiştir. Sistem mimarisi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Geliştirilen sistem yapısı

5.2. Kullanılan Donanım

Çalışma kapsamında video kaydı amacıyla 3 adet - raspberry pi 3 - ve bir adet – raspberry pi 2 model b - kartı kullanılmıştır. Karta dair teknik bilgiler ve resim altta verilmiştir. Ayrıca kartlar üzerinde görsel sensör ile gelmemektedir. Kartla uyumlu olan ve karta takılan sensörlerin özellikleri ve resmi de verilmiştir. Bu kartlar görüntü kaydı için kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Raspberry Pi 3 teknik özellikler

Sistem Çipi	Broadcom BCM2837
İşlemci	4 × ARM Cortex-A53, 1.2 GHz
Grafik İşlemci	Broadcom VideoCore IV
Bellek	1GB LPDDR2 (900 MHz)
Kablolu Ağ Bağlantısı	10/100 Ethernet Bağlantısı
Kablosuz Ağ Bağlantısı	2.4GHz 802.11n
Portlar	HDMI, 4 x USB 2.0, Ethernet, CSI, DSI

Çizelge 5.2. Raspberry Pi 2 Model B teknik özellikler

Sistem Çipi	Broadcom BCM2836
İşlemci	4 × ARM Cortex-A7, 0.9 GHz
Grafik İşlemci	Broadcom VideoCore IV
Bellek	1GB LPDDR2 (900 MHz)
Kablolu Ağ Bağlantısı	10/100 Ethernet Bağlantısı
Kablosuz Ağ Bağlantısı	Bulunmamaktadır
Portlar	HDMI, 4 x USB 2.0, Ethernet, CSI, DSI

Çizelge 5.3. Raspberry Pi 3 kamera modülü teknik özellikleri

Sabit Çözünürlük	5 Megapiksel
Çözünürlük	2592 x 1944 Piksel
Video Modları	1080p x 30 FPS
	720p x 60 FPS
	480p x 60 FPS
	480p x 90 FPS
Dikey Görüş Açısı	53
Yatay Görüş Açısı	41

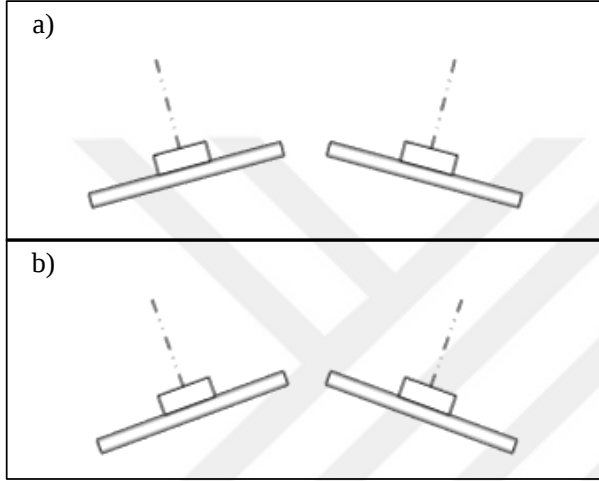


Resim 5.1. Raspberry Pi 3 kartı ve kamera modülü

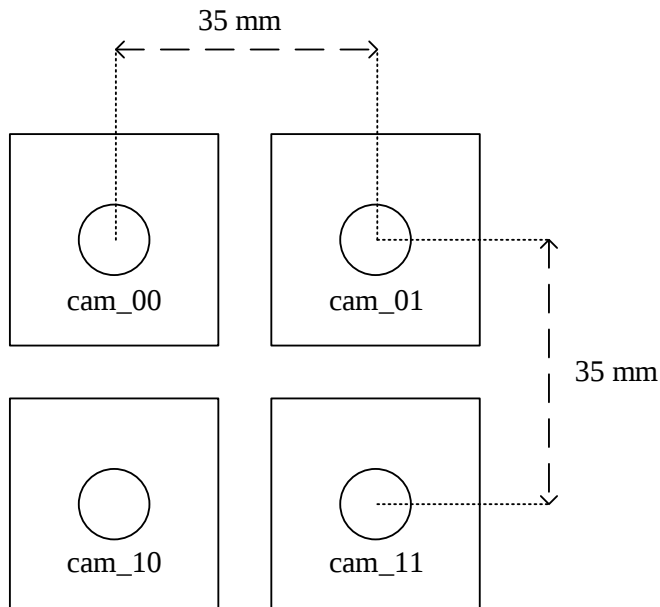
Raspberry pi kartının özellikleri verilen 5 megapikselli kameralarından 4 adet kullanılarak görüntüleme modülü oluşturulmuştur. Her ne kadar sensörler çalışma olarak birbirinden bağımsız olsa dahi, kameraların arasındaki geometrinin korunması amacıyla tek bir platform üzerinde birleştirilmesi gerekli görülmüştür. Bu birleştirme tasarkanırken 2 parametre belirlenmiştir.

Kameraların görüş açıları Çizelge 5.3’de verilmiştir. Bu görüş açıları göz önünde bulundurularak kameraların birbiri ile ve yüzey ile yaptıkları açılar belirlenmiştir. Kameraların birbiri ile yatayda

yaptıkları açı 40, dikeyde yaptıkları açı 30 derece olarak seçilmiştir. Bu seçim yapılırken, resim birleştirme için yeterli bir kesişim alanı bırakılması göz önüne alınmıştır. Ayrıca bu kesişimin toplam çözünürlüğü ve görüş açısını düşürmemesi için çok yüksek olmamasına dikkat edilmiştir. Sonuç olarak kameralar arası yatayda 11, dikeyde 13 derecelik bir kesişim bırakılmıştır. Açılar Şekil 5.2’de verilmiştir.

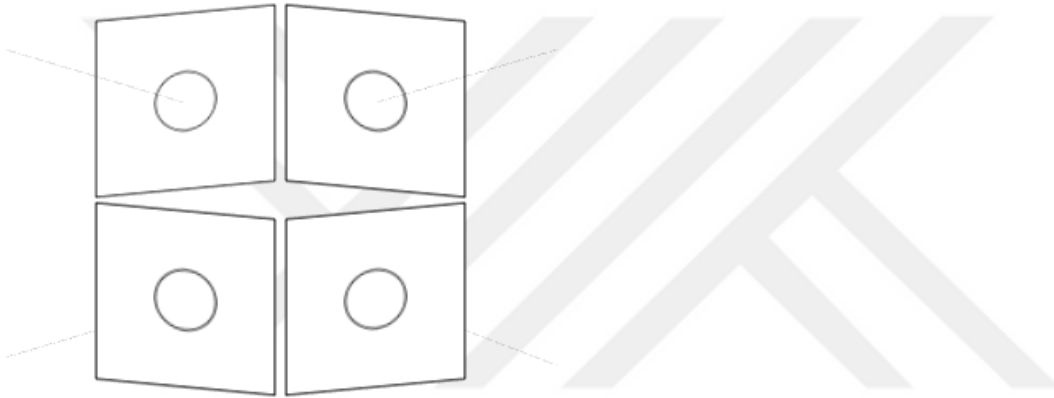


Şekil 5.2. Sensörlerin birbirine göre açıları a) yatay açı b) dikey açı

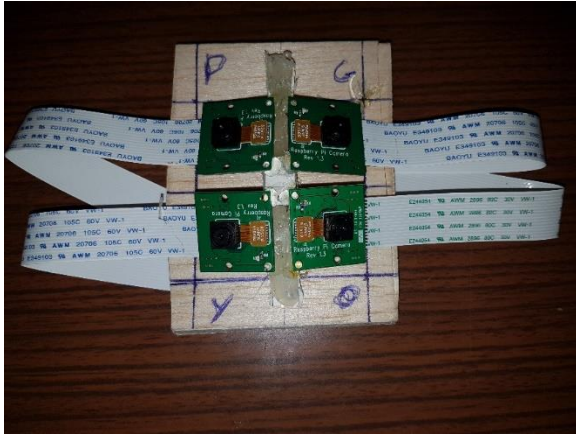


Şekil 5.3. Sensörlerin birbirine uzaklıkları

Sensörlerin birbirine göre açıları belirlendikten sonra, sensör konumlanmasının ikinci parametresi olan mesafelerin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu konuda özellikle sensörlerin büyük kartların üzerine monte edilmiş olmasının zorluğu yaşanmıştır. Bu kartların büyüklüğü 25 mm x 25 mm olduğundan dolayı, birbirine bitişik konumlanmalarına karşın aralarında 35 milimetrelilik bir mesafe kalmaktadır. Bu mesafe göz Şekil 5.3'te gösterildiği üzere verilmiştir. Belirlenen parametrelere göre tasarlanan sensörün üstten görünümü Şekil 5.4'te verilmiştir. Sensörün birleştirilmiş hali Resim 5.2'de verilmiştir.



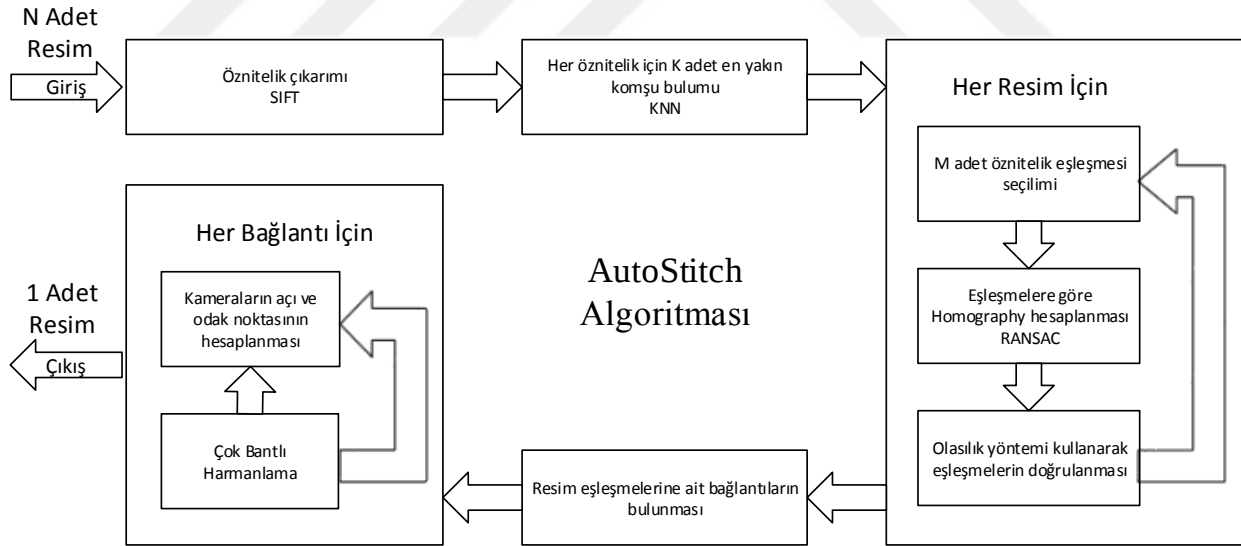
Şekil 5.4. Belirlenen uzaklık ve açılara göre tasarlanan sensör



Resim 5.2. Tasarıma göre birleştirilen sensör

5.3. Görüntü İşleme

Farklı kameralardan gelen resimlerin birleştirilmesi için resim birleştirme işlemine ihtiyaç duyulmuştur. Ancak kameraların bakış açıları arasında fark yüksektir. Yatayda 30 derecelik, dikeyde 40 derecelik bir fark vardır. Bundan dolayı homography kullanmayan yöntemlerle yapılan denemeler başarısız olmuştur. Homography kullanan yöntemler arasında performansından dolayı Brown ve Lowe'nin [87] sunduğu AutoStitch algoritması kullanılmıştır. Bahsi geçen algoritma panorama resimlerin birleştirilmesi için geliştirilmiştir. Panorama resimler, çalışma kapsamında elde ettiğimiz resimler gibi resimler arası açı farklarına sahip olduğundan dolayı çalışmada kullanılabilir durumdadır. Algoritma içerisinde çok sayıda farklı algoritmayı barındırmaktadır. Bu algoritmalar sırasıyla aşağıda anlatılmıştır. AutoStitch algoritmanın çalışma diyagramı Şekil 5.5'de verilmiştir.

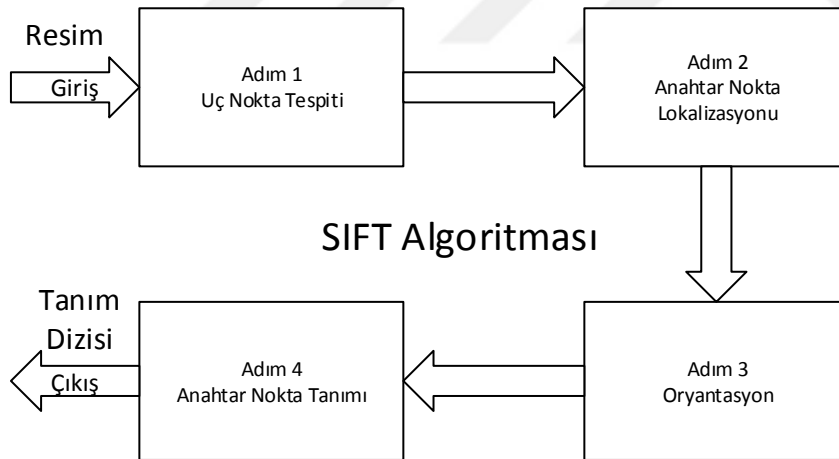


Şekil 5.5. Autostitch algoritmasının şematik gösterimi

Buradan itibaren, AutoStitch metodunu içeren algoritmalar tek tek açıklanacaktır.

5.3.1. SIFT Algoritması

Lowe tarafından [85] sunulan SIFT (Scale Invariant Feature Transform) algoritması, bir resim içerisinde eşsiz olma ihtimali yüksek olan anahtar noktalarının tespiti için kullanılır. Bu anahtar noktaların kullanım alanlarından biri dekesişim noktaları bulunan resimlerin birleştirilmesidir. Bu amaçla resimlerdeki ayırt edici özelliğe sahip anahtar noktalar tespit edilir ve resimler arası bu noktaların eşleştirilmesi ile işlem tamamlanır. SIFT algoritmasında oluşturulan anahtar noktalar boyut ve açı değişikliğine dayanıklıdır. Resimler arasındaki bulunma ihtimali yüksek olan ve birleştirme işleminin performansını düşürme ihtimaline sahip, ışıklandırma değişikliği, gürültü miktarı, 3 boyutlu düzlemdeki değişiklik gibi faktörler altında dahi başarılı olduğu belirtilmiştir. Algoritma başarılı olmasının yanı sıra, gerçek zamanlı olmaya yakın bir hıza sahiptir. SIFT algoritmasının çalışma mantığı 4 adımdan oluşur ve Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6. SIFT Algoritmasının şematik gösterimi

Uç Nokta Tespiti

Algoritmada anahtar noktaların elde edilmesi için öncelikle aday noktalar aday noktaların belirlenmesi gelmektedir. Anahtar nokta tespit edilme ihtimali yüksek olan noktaların aday nokta olarak alınması ile daha küçük bir havuzda işlem yapılacaktır. Böylece işlem yükü azalacaktır. Aday noktalar tespiti için Gauss farkı (difference-of-Gaussian) yöntemi kullanılmıştır. $I(x,y)$

resmi, $G(x,y,q)$ katlanmış gauss fonksiyonunu ifade edecek şekilde alındığında “*” (kıvrılma) işlemi sonucunda $L(x,y)$ olarak nokta tanımı elde edilir. Gauss farkı yöntemi ise bunu k diye tanımlanan ölçek çarpanı kullanarak devamlı olarak yapar ve $D(x,y)$ olarak örnek nokta verir. Formüller Formül 5.3.1.1. olarak verilmiştir.

$$\begin{aligned} L(x, y, \sigma) &= G(x, y, \sigma) * I(x, y) \\ D(x, y, \sigma) &= (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \\ &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma). \end{aligned}$$

Formül 5.3.1.1. Gauss ve Gauss Farkı İşlemleri

Bu örnek noktalar, 8 komşu noktası ve alt-üst ölçeklerdeki 9’ar nokta ile karşılaştırılarak en yüksek ve en düşük değerler belirlenmeye çalışılır. Karşılaştırılan noktaların hepsinde küçük veya büyük olması durumunda, söz konusu nokta seçilir.

Anahtar Nokta Lokalizasyon

Bu adımda noktaların ölçek, konum ve meyillerine göre 3 boyutlu düzlemde izdüşümleri hesaplanır. Bu izdüşümlere göre noktaların lokalizasyonu yapılır. Bu lokalizasyonda kötü sonuç veren noktalar elenir. Ayrıca meyilleri düşük ve tek yönlü tepkisi yüksek (eğimsiz) olan noktalar elenir. Eleme sonrasında elde kalan noktalar kararlı olarak kabul edilir ve bir sonraki aşamaya gönderilir.

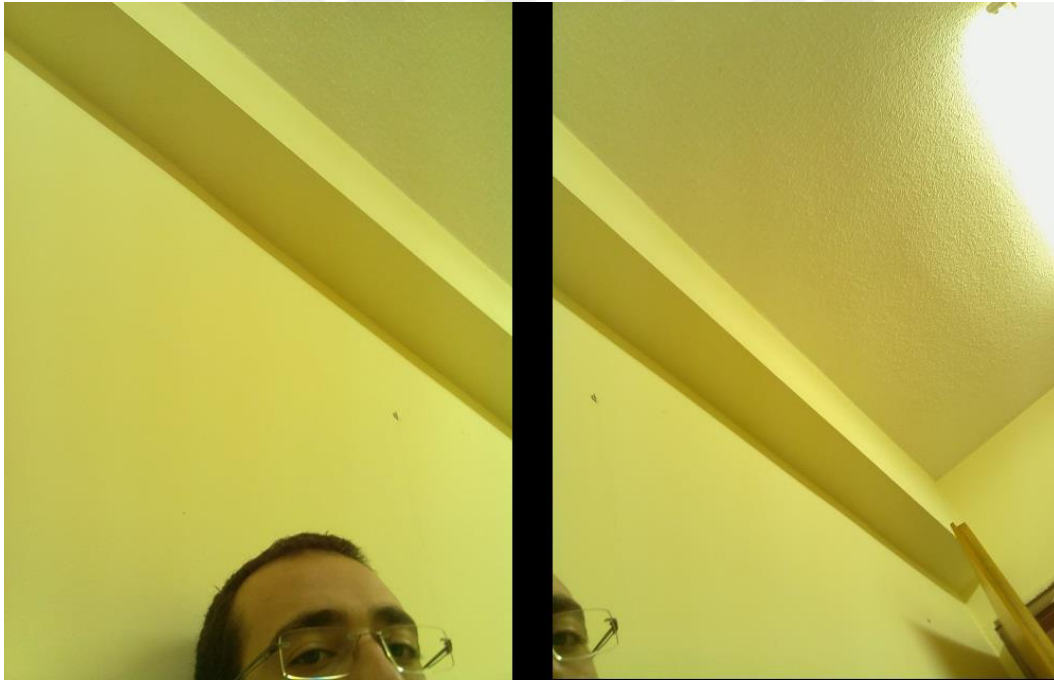
Oryantasyon

Bu adımda noktalara kararlı oryantasyonlar atanır. Bu oryantasyon, yerel resim özelliklerine göre atanır ve nokta tanımında anahtar noktaya uygulanarak kullanılır. Böylece eşleştirilmek istenen resimler arasında açı farkı olduğu durumda bunun eşleşmeyi bozmaması sağlanır. Ancak bir dezavantajı da vardır, açı ve ölçek tespiti için gerekmeyen verilerin kayıt edilmemesinden dolayı nokta tanımlarında veri kaybına neden olur

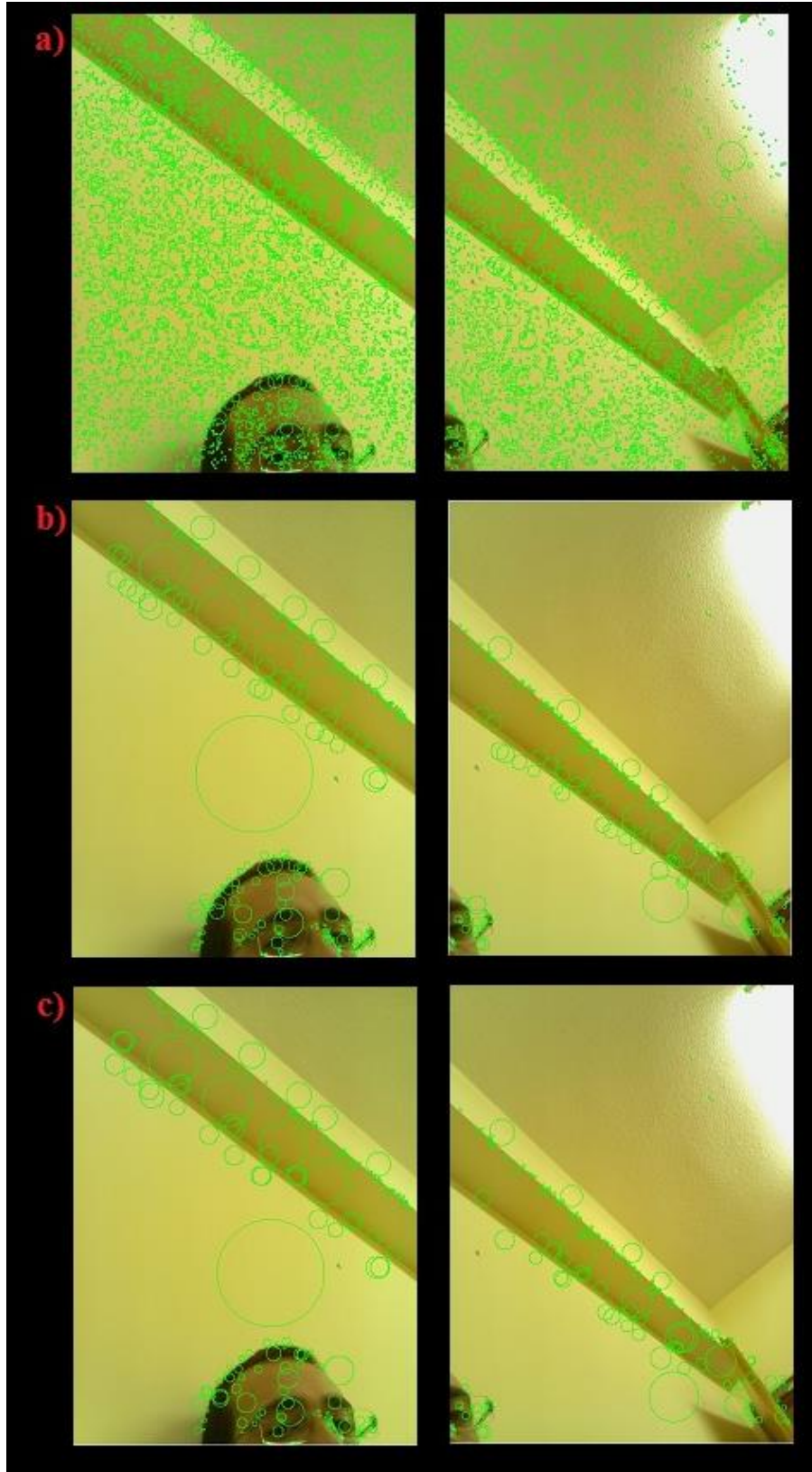
Anahtar Nokta Tanımı

Anahtar noktaların tanımlanması, noktaları oluşturan noktaların oryantasyonlarının bölgesel parametreleri kullanarak harmanlanması ile elde edilir. Harmanlama sonucunda elde edilen tanımın, hem farklılık yaratacak kadar eşsiz hem de görüş açısı değişiklikleri ve ışıklandırma farklarından etkilenmeyecek kadar esnek olması gerekir.

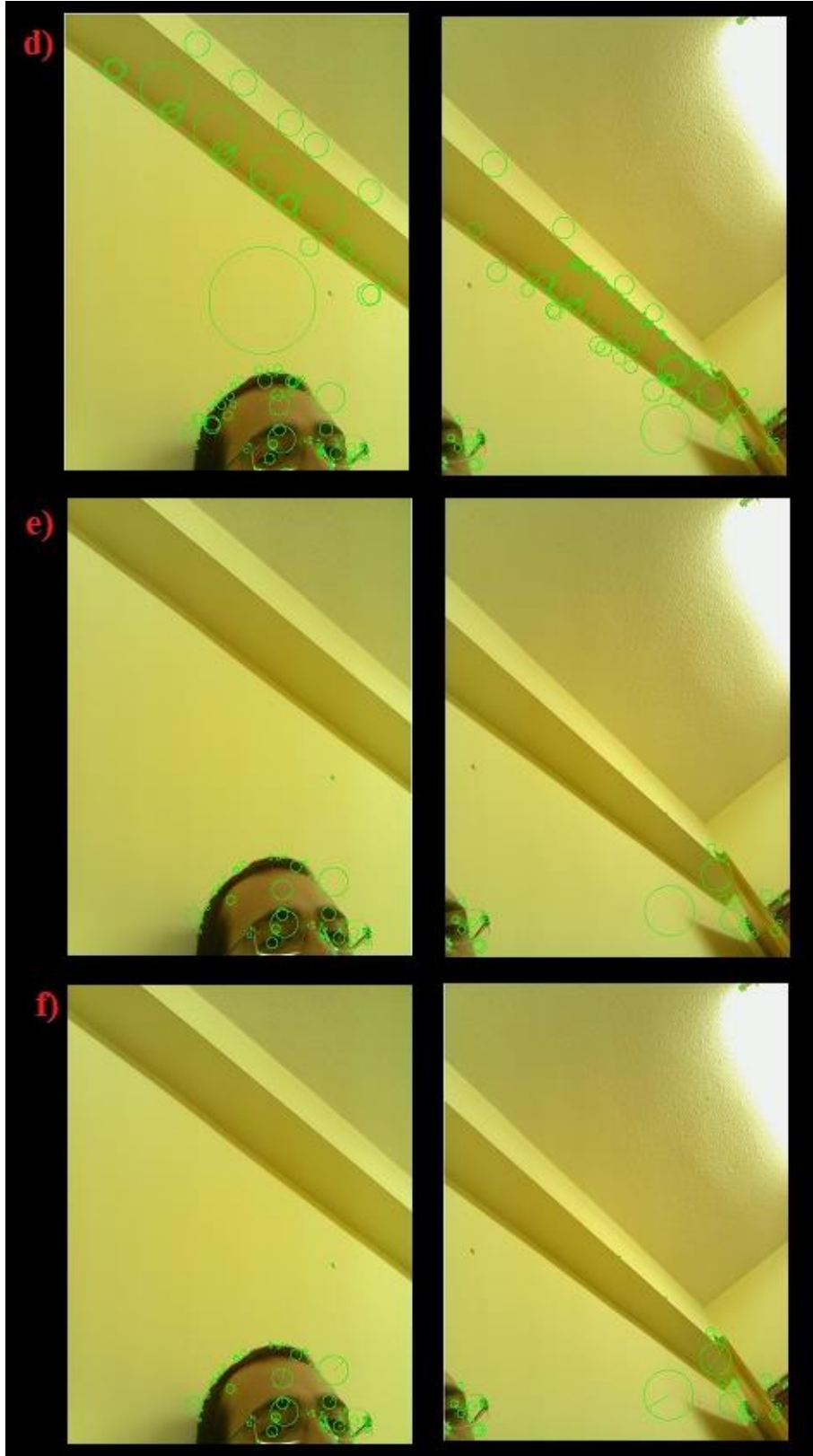
SIFT algoritmasının adım adım çalışmasını göstermek üzere, geliştirilen sensörden elde edilen 2 resim kullanılmıştır. Adımların görselleştirilmesi için örnek olarak geliştirilen uygulamadan yardım alınmıştır [53,54].



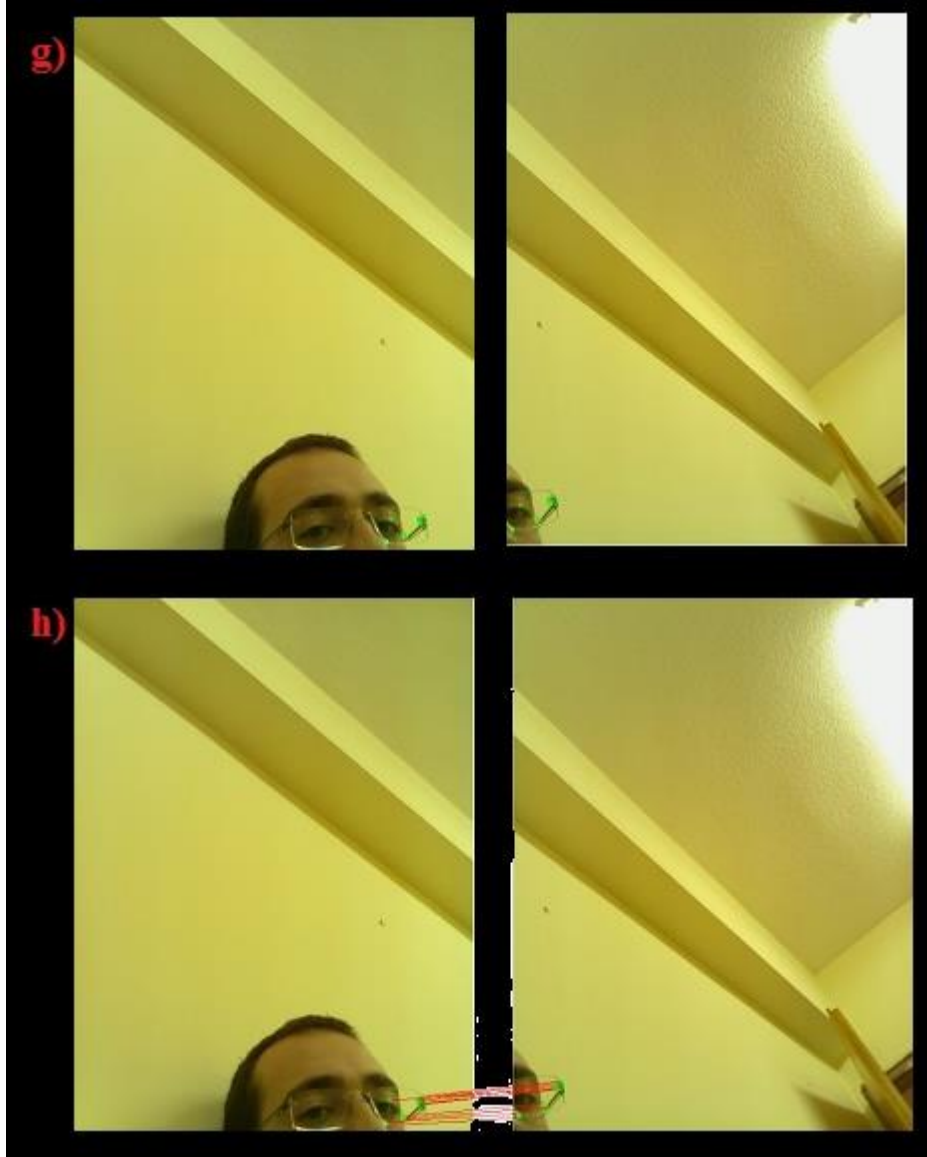
Resim 5.3. SIFT algoritmasının uygulaması için kullanılan resimler.



Resim 5.4. SIFT algoritmasının uygulama adımları 1



Resim 5.5. SIFT algoritmasının uygulama adımları 2



Resim 5.6. SIFT algoritmasının uygulama adımları 3

SIFT algoritması adım adım uygulanmıştır. Sonuçlar Resim-1-2-3 olarak verilmiştir. Anahtar nokta bulma ve bu noktaları eşleştirme adımları a,b,c,d,e,f,g ve h olarak adlandırılmıştır. Öncelikle Gauss farkı kullanılarak aday anahtar noktalar oluşturulmuştur (a). Sonrasında bu noktaların eşsizlik olarak belirli bir değerin üstüne çıkıp çıkmadığı kontrol edilmiştir, bu değerin altında kalan noktalar elenmiştir (b). Önceki adımdan gelen noktalar, 3 boyutlu düzleme meyillerine göre oturtulmuştur (c). Oturtma işleminde kötü sonuç veren noktalar elenmiştir (d). Köşe olarak tanımlanabilecek, tek yöne tepkisi yüksek olan noktalar elenmiştir (e). Noktalara oryantasyon

atanması yapılmıştır (f). Resimlerdeki noktalar eşleştirilmiştir, eşleşen noktalar (g) ve birleşimler (h) verilmiştir.

5.3.2. K-NN Algoritması

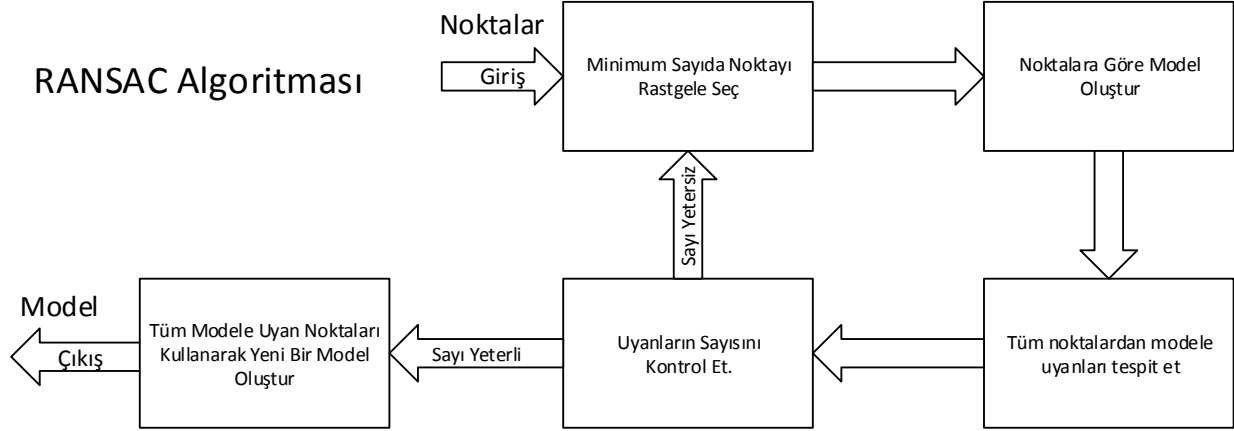
K Nearest Neighbour (K adet En Yakın Komşu) diye adlandırılan algoritma m boyutlu düzlemde verilerin sınıflandırılması amacıyla kullanılır. Düzlemde sınıflaması yapılacak noktaya en yakın k adet sınıflandırılmış nokta seçilir. Sınıflardan en çok seçili noktaya sahip olan sınıf, sınıfı araştırılan noktaya sınıf olarak atanır.

5.3.3. RANSAC Algoritması

Random Sample Consensus (Ransac) algoritması [43], minimum sayıda gözlem noktası kullanarak bir model oluşturur. Olabildiğince çok sayıda data kullanarak en doğru sonucu yakalamaya çalışan klasik yöntemlerin aksine RANSAC, olabildiğince az sayıda nokta alarak başlar ve bu noktaları destekleyen noktalar kullanarak devam eder.

Algoritma öncelikle model üretmek için gereken minimum sayıda noktayı rastgele seçer. Bu parametreleri kullanarak modeli oluşturur. Kalan tüm noktaların bu modele belirli bir hata payına göre uyup uymadığını kontrol eder ve uyan nokta sayısı belli bir sayıyı geçerse, o ana kadar kontrol edilen noktalara göre yeni bir model oluşturulur. Aksi takdirde ilk adıma geri dönülerek algoritma baştan başlatılır. Algoritmaya dair akış şeması aşağıda Şekil 5.7’de verilmiştir.

Resimlerin birbirine göre pozisyonlarını 3 boyutlu düzlemde ifadesi “homography” olarak adlandırılmaktadır. Proje kapsamında RANSAC algoritması da homography hesaplanması amacıyla kullanılmıştır. Bundan dolayı ilk adımda bahsedilen algoritmanın çalışabilmesi için gereken minimum sayı dördür.



Şekil 5.7. RANSAC algoritmasının şematik gösterimi

5.3.4. Çok Bantlı Harmanlama

Resimlerin birleştirilmesi aşamasında kesişimler olacaktır. Bu kesişim noktalarında son elde edilecek resmin piksellerine denk gelen yerlerde, çok sayıda küçük resimden gelen noktalar olma durumu vardır. Bu noktada aynı piksele denk gelen değerlerin harmanlanarak, son bir değer oluşturulması gerekir. Bu noktada kullanılan klasik yöntemler, resimlerin ağırlıklandırılarak toplanması yöntemini kullanır. Ancak bu yöntem yüksek frekanslı (renk değişimlerinin küçük mesafelerde yüksek oranda olduğu) durumlarda resimde bulanıklığa neden olur. Bu sorunun önüne geçmek amacıyla Burt ve Adelson [74] tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem düşük frekanslı harmanlama işlemlerinin geniş bir alanda uygulanmasını, frekansı yüksek olanların ise küçük bir alanda uygulanmasını öngörür. AutoStitch algoritmasında frekanslar iki aralığa bölünmüştür. Oluşturulan resimdeki dalga boyu ile farkı 2 pikselden yüksek olanlar yüksek, kalanlar düşük olarak sınıflandırılmıştır. Düşük olanlarda klasik olarak kullanılan lineer ağırlıklandırılmış toplama işlemi kullanılırken, yüksek olanlarda veri doğrudan en yüksek ağırlığa sahip olan resimden alınmıştır.

Harmanlamaya dair yöntemler Resim 5.7’de verilen ve 2 alt resimden oluşan veriler üzerinde denenmiştir. Veriseti geliştirdiğimiz sensör tarafından çekilmiştir. Verisetindeki resimler AutoStitch algoritması kullanılarak birleştirilmiştir. Harmanlama aşamasında ise

harmanlanmamış, lineer harmanlama metodu kullanılmış ve çok bantlı harmanlama kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar Resim 5.8’de verilmiştir.



Resim 5.7. Harmanlama Testi için Kullanılan Resimler

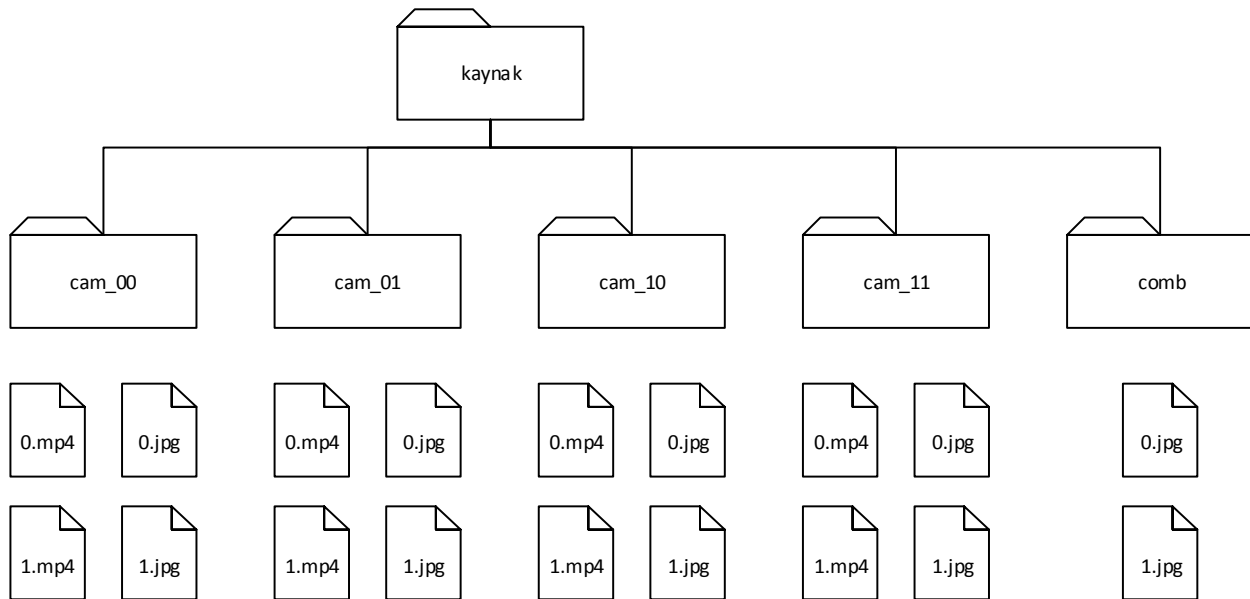
Resim 5.8’da görüldüğü üzere harmanlama kullanılmadan birleştirmede dikiş izleri görünmektedir. Çoğu yerde birleşim hataları göze çarpmaktadır. Lineer harmanlamada birleştirme hataları yok olmuş ancak resimde bulanık ve titreşim şeklinde görsel bozukluklar bulunmaktadır. Çok kanallı harmanlama kullanılan resimde bu bozuklukların da ortadan kalktığı, bölgesel renk farkları dışında güzel bir birleştirme işlemi yapıldığını görmekteyiz.



Resim 5.8. Farklı harmanlama yöntemleri sonucunda elde edilen sonuçlar. a) Harmanlama kullanılmamış birleştirme sonucu elde edilen resim b) Lineer harmanlama sonucu elde edilen resim c) Çok Bantlı harmanlama sonucunda elde edilen resim

5.4. Görsel Veritabanı

Çalışma kapsamında geliştirilen görsel veritabanındaki yapı Şekil 5.8’de verilmiştir. Her kamera kendine ait mini sd kartta bir kayıt klasörüne sahiptir. Bu klasör kartların router ile bağlandığı ana bilgisayarda “kaynak” adı verilen bir klasörde bulunan bir klasöre LVM (Logical Volume Management) protokolü ile bağlıdır. Bu nedenle karttaki klasörde yapılan her değişiklik gerçek zamanlı olarak ana bilgisayara da yansır. Böylece çok sayıda kaynakta bulunan veriler, tek bir merkezdeki gibi kontrol edilip, işlenebilir. Dosyalar veritabanında 5 dakikalık videolar şeklinde tutulur ve çerçeve sıralamasını dosya ismi olarak alır. Ayrıca her video dosyasının başında, görüntü işleme tekniklerinin uygulanması amacıyla çekilmiş, video ile aynı mantıkla adlandırılmış bir resim de bulunur. Bu resim küçültülerek AutoStitch algoritmasını sokulur, bu yöntemle daha büyük resimlerde daha çok zaman alacak olan aşamalar daha hızlı bir şekilde halledilir. Ayrıca tez kapsamında kullanılan monitörlerden dolayı, büyük resim kullanılsa bile bunun gösterilememesi durumu bulunmaktadır. AutoStitch’ten elde edilen görüntü “comb” klasörünün altın kaçıncı videoya ait olduğuna dair isimlendirilerek kaydedilir.



Şekil 5.8. Görsel veritabanı yapısı

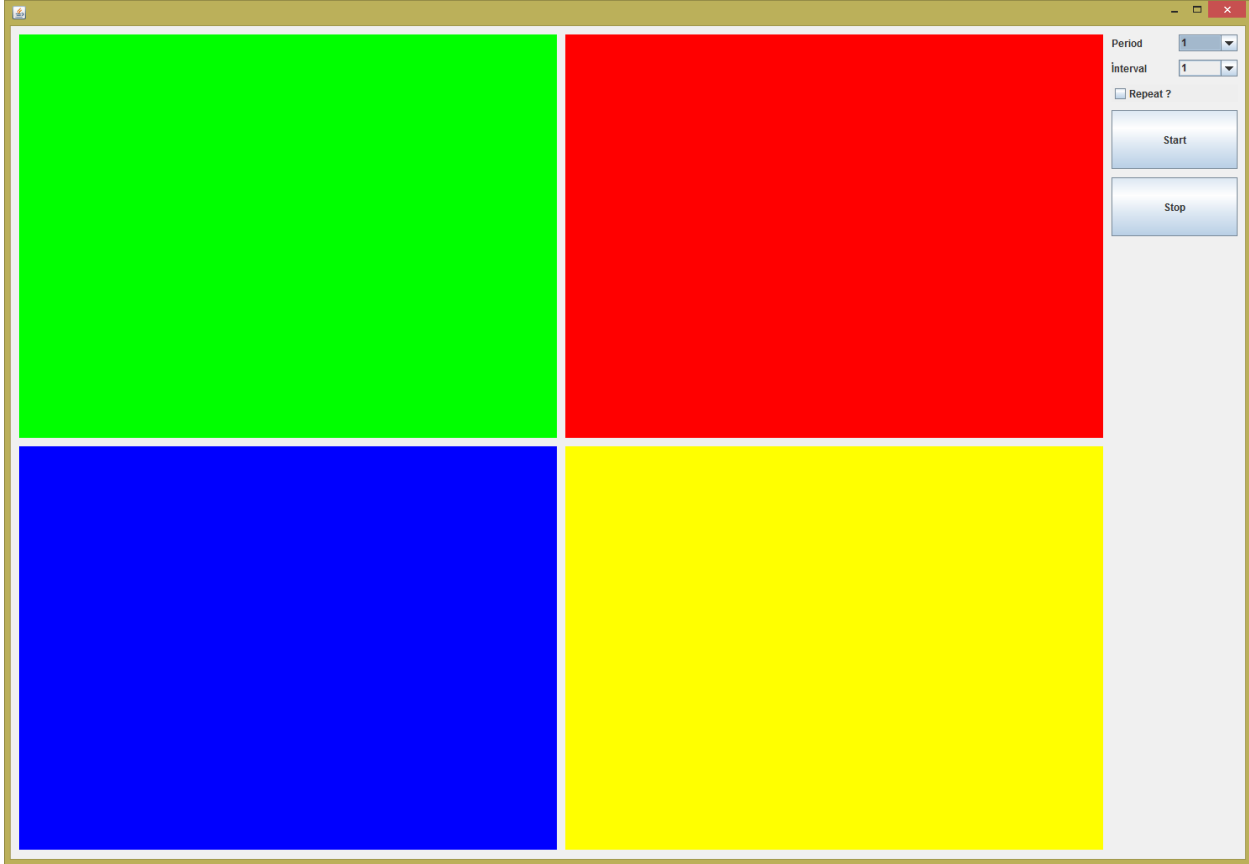
Bu yapıda video tutulmasının nedenleri vardır.

- Tez çalışması sonunda elde edilen tasarım büyük verileri hedeflemektedir. Büyük verilerin tek bir akış olarak kodlanması, kodlama işleminin boyutla birlikte artan karmaşıklığından dolayı verimli bir yöntem değildir. Bu işlemin tek bir işlemci kart tarafından yapılması için çok yüksek işleme gücüne sahip sunucular gerekir.
- Dosyalar dağınık şekilde farklı disklerde tutulması ile, hem çok büyük boyutta disk gereksinimi ortadan kalkar. Aynı zamanda disklerde verilerin ne kadar hızlı yazılabileceği bellidir. Dağınık mimari ile bu sınır da ortadan kalkar. Tek bir diske yazılamayacak kadar büyük veri, gerçek zamanlı olarak dağınık bir diskler serisine yazılabilir.

5.5. Video Oynatıcı

Tez kapsamında elde edilen videoyu oynatacak bir oynatıcı geliştirilmiştir. Oynatıcı çalıştırıldığı zaman, oynatıcının iki fonksiyonu olan “kaydedilmiş videoyu oynatma” ve “canlı video oynatma” arasından seçim yapılır.

Canlı video oynatma ekranı, 4 kameradan gelen görüntülerin gösterileceği alanlar bulunur. “Start” düğmesine basıldıktan sonra kameralara ssh protokolü ile her saniye bir tane resim çekmelerini sağlayan komut gönderilir. Bu komuttan sonra kameralar 1 dakika boyunca her saniyede bir resim çekerek bu resmi sırası ve kamera pozisyonunu içerecek bir dosya verilerek kaydedilir. Kamera ve bilgisayarda bulunan klasörler, lvm (logical volume management) ile bağlı olduğundan dolayı resimler kaydedildiği an bilgisayardaki klasörde görünmektedir. Canlı yayın modülü, başlatıldıktan sonra her saniye klasördeki en yüksek sıradaki dosyayı bulup ekranda göstermektedir. Kameraların her an kayıt yapması ve oynatıcının her an yenileyerek, en güncel görüntüyü ekrana getirmesi ile canlı yayın yapılmaktadır. Modülün ekran görüntüsü aşağıda Resim 5.9’da verilmiştir.

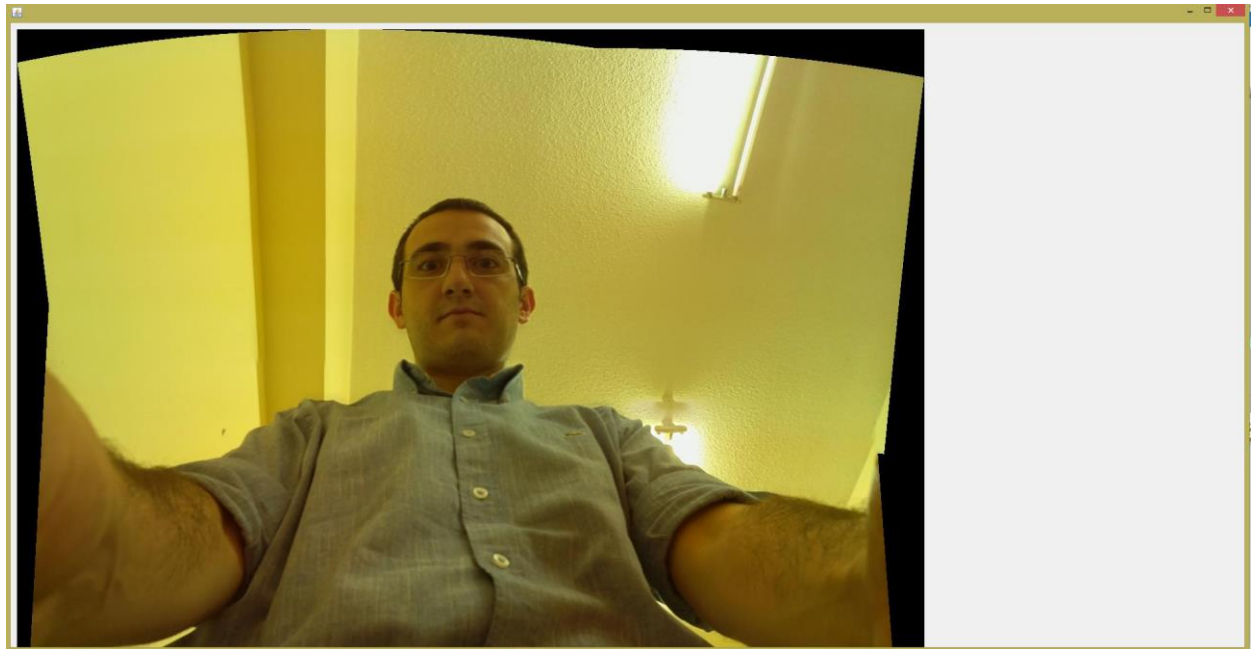


Resim 5.9. Canlı yayın modülü

Oynatıcının bir de kayıtlı videoları gösterme özelliği bulunmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen görsel veritabanı zaman mekan eşleştirmesi yapan, zaman-mekan tabanlı veritabanı olduğu için oynatıcıda video sorgulaması yıl, ay, gün, saat, dakika ve GPS konumuna göre sorgulama yapılmaktadır. Bu parametrelerin girilmesinin ardından “load” düğmesine basılması ile seçilen parametrelerdeki video uygulamaya yüklenir. “Combined” düğmesine tıklandığında aktif çerçeveye dair birleştirilmiş görüntü gösterilmektedir. “00”, “01”, “10” ve “11” düğmelerine basılarak ilgili kameraya dair 5 dakikalık video görüntüsü, bilgisayarın öntanımlı video oynatıcısı ile izlenebilmektedir. Ayrıca ekranda bulunan “<” ve “>” tuşları ile videonun tüm çerçeveleri arasında gezilebilmektedir. Oynatıcı ekran görüntüsü Resim 5.10’da verilmiştir.



Resim 5.10. Geliştirilen video oynatıcı



Resim 5.11. Birleştirilmiş resim

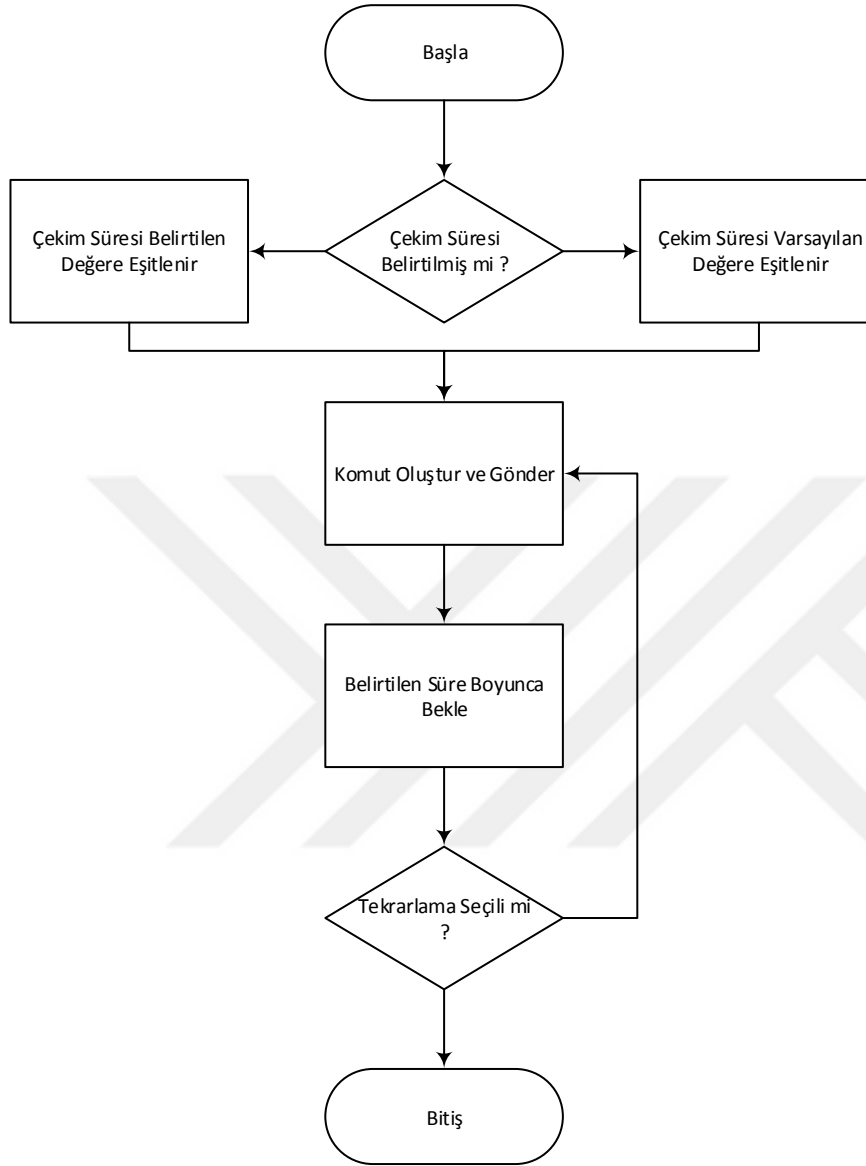
5.6. Video Kaydedici

Video kaydı ve resim çekilmesi için kullanılan kart olan Raspberry Pi kartının içerisinde bulunan script dili kullanılmıştır. Bu dil belirli çözünürlükte resim ve video çekmeye imkan vermektedir. Bunu gerçekleştiren komutlar, aracı program tarafından kartlara ssh bağlantısı ile gönderilmektedir. Programın akış diyagramı aşağıda verilmiştir. Programın iki farklı kayıt fonksiyonu vardır, bunlar “canlı yayın” ve “bant kaydı” diye adlandırılmıştır.

5.6.1. Canlı yayın

Canlı yayın modülündeki “Start” düğmesine basıldıktan sonra, arayüzde belirtilen parametrelere göre bir komut hazırlanır. Arayüzdeki “Period” alanı, kaç saniyede bir resim çekileceğini belirtirken, “Inteval” alanı toplam çekimin kaç dakika süreceğini belirtmektedir. “Repeat” ise toplam çekim zamanı tamamlandıktan sonra çekimin bitirilmesine dair karar mekanizmasıdır. Seçili ise, çekim süresi uzunluğunda bir çekim başlatılır, aksi takdirde çekim bitirilir.

Bu komut resim çeken kameranın, belirli bir süre boyunca resim çekmesini sağlar. Bu resimler her kartın üzerinde ayrıl olacak şekilde saklanır. Bu klasörler ana bilgisayardaki esas klasöre lvm ile bağlı olduğundan dolayı, resimler çekildiği anda esas bilgisayardaki klasörde de görülür ve tek bir merkezde gerçek zamanlı olarak toplanmış olur. Video oynatıcı bu görüntüleri her saniyede kontrol ederek ekrana yansıtır.



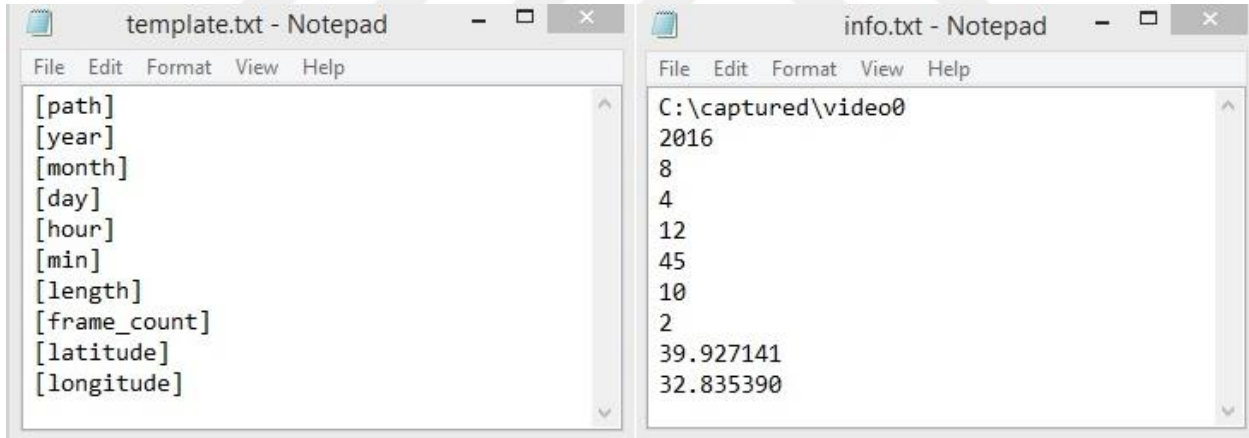
Şekil 5.9. Canlı yayın akış diyagramı

Raspberry Pi kartlarının kendi komutlarında bulunan, belirli periyotta resim çekilmesini sağlayan “timelapse” komutu kullanılmıştır. “timelapse” komutu, parametre olarak toplam çekim süresini, çekim aralığını ve dosya ismini alır. Süreler milisaniye olarak alınırken, dosya isminde “%” kullanılarak çekim sırasını dosya ismine eklemek mümkündür. Dökümantasyonda verilen örnekten yola çıkılırsa, “raspistill -t 30000 -tl 2000 -o image%04d.jpg” komutundaki, “tl” kelimesi “timelapse” şeklinde sürekli çekim yapılacağını, 2000 parametresi çekimin sürekli çekimin periyodunu, “t” komutu toplam çekim süresini, 30000 parametresi toplam çekim süresini belirtir.

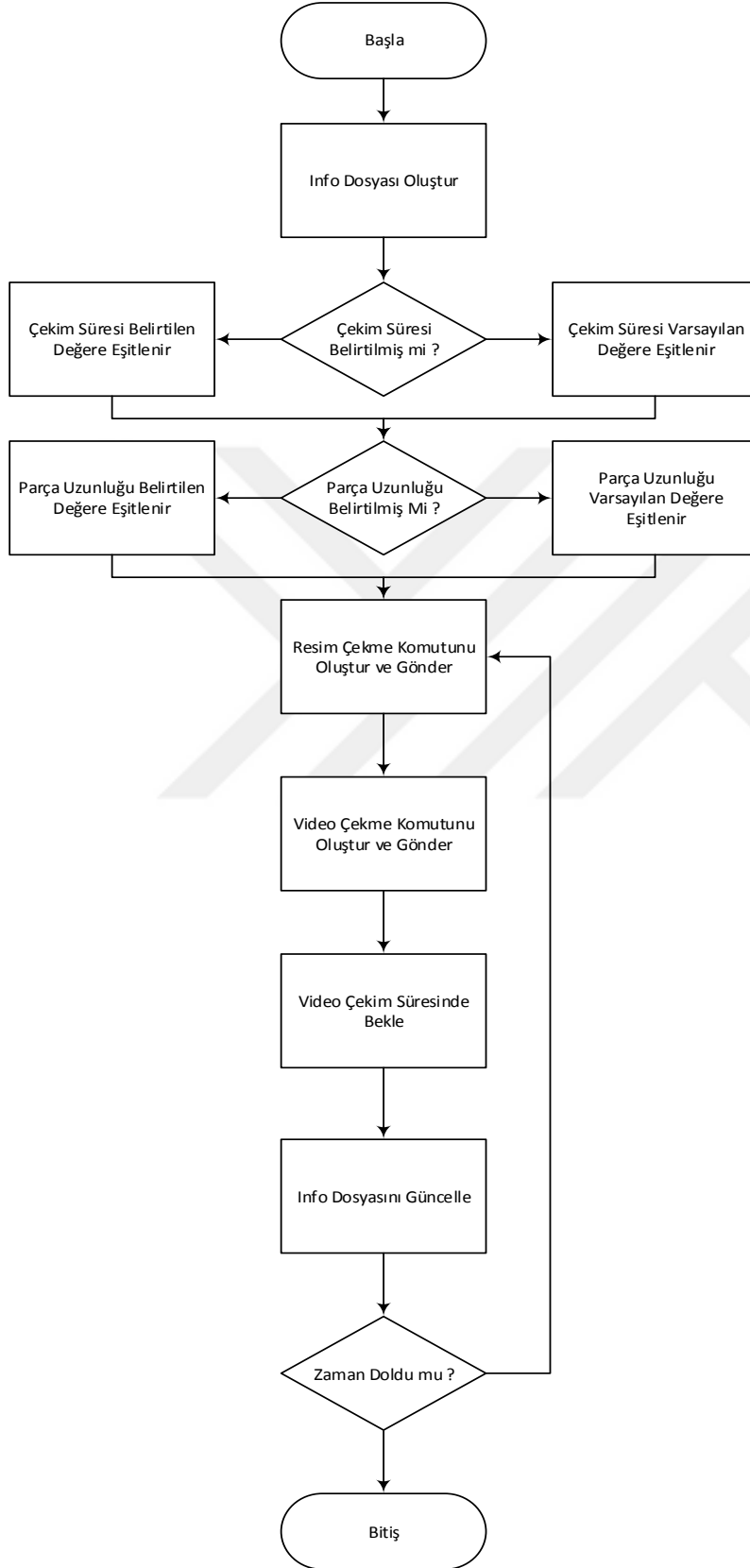
“o” komutu oluşturulacak dosyanın oluşturulacağı adresi ve dosya isminin verilmesi için kullanılır. Parametredeki “%04d” kısmı, dosya sırasının yazılacağı kısımdır, yuzdeden sonra gelen “04” kısmı dosya ismine eklenecek sıralamanın 4 basamaklı olacağını ve “0000” değerinden başlayacağını ifade eder.

5.6.2. Video kaydı

Kayıt işleminin ilk adımı, video bilgilerini içeren bilgi dosyasının oluşturulmasıdır. Dosya içerisinde bahsi geçen bilgiler satır satır yazılmış şekilde bulunur. Dosyada sırasıyla videonun depolandığı klasör, çekime ait yıl, ay, gün, saat, dakika bilgileri, toplam çekim süresi, çekimin kaç parçadan oluştuğu, gps enlem ve boylamları depolanır. Dosyanın yapısı ve örnek bir dosya Resim 5.12’te verilmiştir.

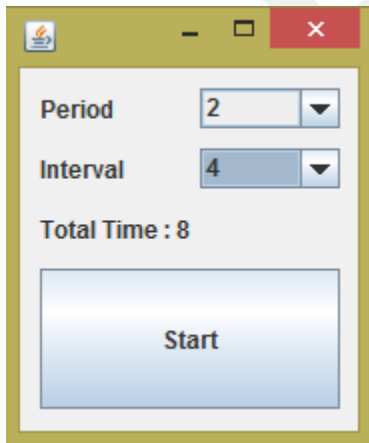


Resim 5.12. Bilgi dosyasının taslağı ve örnek bir bilgi dosyası



Şekil 5.9. Video kaydının algoritması

Info dosyası oluşturulduktan sonra, kayıt alanında belirtilen parametrelere göre video ve resim komutları oluşturulur. Resim komutu için “raspistill” komutunun genişlik (--width, -w), yükseklik (--height, -h), kalite (--quality, -q) ve bekleme (--timeout, -t) parametreleri kullanılmıştır. Çalışma çözünürlük odaklı olduğundan, kameranın desteklediği en yüksek çözünürlük olan 5 megapiksel çözünürlük, en yüksek resim kalitesi olan 100 ve minimum bekleme olan 1 milisaniye kullanılmıştır. Komut “raspistill -t 1 -w 2560 -h 1980 -q 100 -o \$PATH” şeklindedir. Resim komutu gönderildikten 2 saniye sonra video komutu gönderilir. Video için “Raspivid” komutunun süre (--timeout, -t) parametresi kullanılır. Varsayılan ayar olarak kameranın desteklediği en yüksek çözünürlük belirtildiğinden dolayı ek bir parametre kullanılmamıştır. Kullanılan komut “raspivid -t \$TIMEOUT -o \$PATH” şeklindedir. Buradaki \$TIMEOUT değişkeni arayüzden alınan parça uzunluğu değişkenidir.



Resim 5.13. Parça uzunluğu ve parça sayısının kullanıcıdan alındığı arayüz.

Video çekme komutu gönderildikten sonra parça uzunluğu süresince beklenir. Bekleme sonrasında info dosyasındaki [length] ve [frame_count] alanları yeni video parçası da hesaba katılarak güncellenir. Bu aşamadan sonra, kayıt öncesinde belirtilen tekrar sayısı kadar çekim yapıp yapılmadığının kontrolü yapılır. Yeterince çekim yapıldıysa algoritma sonlandırılır, aksi takdirde baştan resim çekme aşamasına geri dönlür.



6. SONUÇ

Tez olarak hazırlanan bu çalışma gigapiksel çözünürlüğe sahip bir gözetleme sistemi hedeflenerek başlamıştır. Eldeki imkanlar ölçüsünde, ölçeklenebilir ve verimli bir yapı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu noktada literatürde en önde gelen çalışmalar olan ARGUS-IS [26], AWARE [28-33] ve Leblebici'nin çalışmaları [11-18,23] referans olarak kabul edilmiştir. Söz konusu sistemlerin elektronik kısmı örnek alınarak bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin hali hazırda bulunan sistemlere getirdiği yenilikler şu şekildedir.

Diğer çalışmalarda işlemci olarak kullanılan kartlar FPGA kartlarıdır. Yapılan çalışmada ise kendi işletim sistemine sahip mikroişlemci bulunduran kartlar kullanılmıştır. Bu seçimin hem olumlu hem de olumsuz yönleri gözlemlenmiştir.

- İşletim sistemli kartların birbiri ile senkronizasyonun sağlanması zor olmuştur. Komutlar SSH bağlantısı ile paralel ve eş zamanlı olarak gönderilmesine rağmen, işletim sistemlerinin arka planındaki iş yükünden dolayı gecikmeler ve senkronizasyonda bozulmalar olabilmektedir.
- Kullanılan kartlarda bulunan işletim sistemi (Linux Raspian), OpenCV kütüphanesini ve kullanılan protokolleri desteklemektedir. Bundan dolayı, FPGA kullanıldığında oluşacak iş yüküne oranla daha düşük iş yükü elde edilmektedir. Algoritmalar ve protokoller kolayca tanımlanarak kullanılabilir.
- Kartlarda bulunan medya (resim ve video) kodlaması, donanımsal olarak tanımlandığından dolayı, ek olarak işlem gücü ayrılmasına gerek kalmamıştır.
- Kartlarda bulunan medya (resim ve video) kodlaması, donanımsal olarak kodlandığından dolayı, kodlama işlemine müdahale edilememiştir.

Diğer çalışmalarda resim birleştirme işlemi için kameraların koordinat ve yönelim değişkenleri kullanılmıştır. Değişkenlere göre görüş alanı hesapları yapılarak, birleşim noktaları öngörülmüş ve bu noktalardan birleştirme yapılmıştır. Bu amaçla kullanılan algoritmalar düşük işlem yüküne sahip algoritmalarlardır. Ancak bu algoritmaların çalışması için çok hassas bir geometri oluşturulması gerekmektedir. Kameraların sabit, hareket etmeyecek bir şekilde konumlandırılması

algoritmaların çalışması için önem arz etmektedir. Özellikle referans kabul edilen çalışmalarda [11-18,23,26,28-33], kameraların odaklandığı açılardaki küçük değişiklikler, görüş açılarını bozabilir. Bu açıdan, bahsi geçen çalışmalarda kullanılan yöntemler, tasarımı ve uygulaması zor yöntemlerdir. Ek olarak bahsi geçen çalışmalarda bulunan kompleks lens sistemleri, kameralar arası açı farkı bu sistemler tarafından düşürülmektedir. Örnek olarak ARGUS-IS [26] sensöründe kameralar arası görüş açısı farkı 2 derecedir, ancak tez çalışması kapsamında geliştirilen sensörde bu değer minimum 30 derecedir. Yapılan çalışmada, referans çalışmalardaki hassasiyet yakalanamayacağından ve referans çalışmalarda bulunan kompleks lens sistemleri bulunmadığından dolayı kamera konumlarını almayan, homografi kullanarak kendi hesaplayan AutoStitch yöntemi kullanılmıştır. Bu seçimin hem olumlu hem de olumsuz yanları gözlemlenmiştir.

- Donanımsal konum destekli yöntemler düşük işlem gücü gereksinimine sahip hafif algoritmalarlardır. Ondan dolayı yüksek performans alınmaktadır. Örneğin ARGUS-IS saniyede 12 çerçevelik hızda, gerçek zamanlı kayıt yapabilmektedir. Ancak AutoStitch yöntemi ile bu hız yakalanamamaktadır. 1280 x 720 piksellik çözünürlükte bir birleştirme için 1 saniyelik bir zaman gerekmektedir.
- Kullanılan AutoStitch yöntemi pozisyonlarını parametre olarak almamakta ve girdi sayısından bağımsız olarak birleştirme yapabilmektedir. Kesişim durumu ortadan kalmadığı sürece, AutoStitch bakış açısı ve konum değişikliklerine karşı dayanıklıdır. Bahsi geçen durum pozisyon destekli bir yöntemde olursa, birleştirme başarısız olacaktır. Bu bakımdan homography kullanan AutoStitch yöntemi üstündür.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen prototip dijital yakınlaşma –Digital Zoom- amacıyla geliştirilmiş ve bu amaca ulaşılmıştır. Prototip tarafından çekilen videonun çözünürlüğü 20 megapikseldir. Bu değer 5 megapiksellek 4 kameradan elde edilen görüntülerle elde edilmiştir. Tek odaklı sensörlere göre daha yüksek çözünürlük ve görüş açısının elde edilebileceği bir tasarım ortaya konulmuştur. Maddi destek sağlandığı durumda, bu tasarım genişletilerek ve lens sistemlerinin eklenmesi ile geliştirilip çok yüksek çözünürlükler elde edilebilir. Çalışmanın kullanılabileceği başka alanlar da bulunmaktadır. Bunlar aşağıda verilmiştir.

- Geliştirilen prototip, destek alınması durumunda büyütülerek ve lens sistemlerinin eklenmesi ile gigapiksel seviyesinde çözünürlüklere ulaşabilir.
- Kameraların aynı görüş alanına odaklanması sağlanarak [2] benzeri bir şekilde yüksek hızda video elde edilebilir.
- Kameraların görüş alanları kesişimi arttırılarak cisimlerin uzaklıklarına ve şekillerine dair bilgi çıkarımı yapılabilir.





KAYNAKLAR

1. Aldalali, B., Fernandes, J., Almoallem, Y. and Jiang, H. (2013). Flexible miniaturized camera array inspired by natural visual systems. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 22(6), 1254-1256.
2. Wilburn, B., Joshi, N., Vaish, V., Talvala, E. V., Antunez, E., Barth, A. and Levoy, M. (2005). High performance imaging using large camera arrays. *In Association for Computer Machinery Transactions on Graphics*, 24(3), 765-776.
3. Wilburn, B., Joshi, N., Vaish, V., Levoy, M. and Horowitz, M. (2004). High-speed videography using a dense camera array. *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 214-301.
4. Cossairt, O. S., Miao, D. and Nayar, S. K. (2011, April). Gigapixel computational imaging. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computational Photography*, 1-8.
5. Davis, J. D., Barrett, S. F., Wright, C. H. G. and Wilcox, M. (2009). A bio-inspired apposition compound eye machine vision sensor system. *Bioinspiration & biomimetics*, 4(4).
6. Hu, W. C., Chang, C. H., Liang, Y. F. and Wu, C. T. (2007). Creating wide field-of-view video using multicamera. *Proceedings of the Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control*. 239-239.
7. Feng, G., Tian, W., Huang, C., Liu, T. and Zhang, S. (2008). Wide field of view CCD camera based on multi-sensors image mosaics. *Proceedings of the 2008 Conference on Image and Signal Processing*, 2, 432-435.
8. Marefat, F., Partovi, A. and Mousavinia, A. (2012). A hemispherical omni-directional bio inspired optical sensor. *Proceedings of 20th Iranian Conference on Electrical Engineering*, 668-672.
9. Prabhakara, R. S., Wright, C. H. and Barrett, S. F. (2012). Motion detection: A biomimetic vision sensor versus a ccd camera sensor. *IEEE Sensors Journal*, 12(2), 298-307.
10. Liu, H., Tang, C., Wu, S. and Wang, H. (2011). Real-time video surveillance for large scenes. *Proceedings of International Conference on Wireless Communications and Signal Processing*, 1-4.
11. Afshari, H., Jacques, L., Bagnato, L., Schmid, A., Vandergheynst, P. and Leblebici, Y. (2011). Hardware implementation of an omnidirectional camera with real-time 3D imaging capability. *3DTV Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video*, 1-4.
12. Akin, A., Erdede, E., Afshari, H., Schmid, A. and Leblebici, Y. (2012). Enhanced omnidirectional image reconstruction algorithm and its real-time hardware. *Digital System Design*, 907-914.

13. Afshari, H., Popovic, V., Tasci, T., Schmid, A. and Leblebici, Y. (2012). A spherical multi-camera system with real-time omnidirectional video acquisition capability. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(4), 1110-1118.
14. Afshari, H., Akin, A., Popovic, V., Schmid, A. and Leblebici, Y. (2012). Real-time FPGA implementation of linear blending vision reconstruction algorithm using a spherical light field camera. *Proceedings of 2012 IEEE Workshop on Signal Processing Systems*, 49-54.
15. Afshari, H., Jacques, L., Bagnato, L., Schmid, A., Vandergheynst, P. and Leblebici, Y. (2013). The PANOPTIC camera: a plenoptic sensor with real-time omnidirectional capability. *Journal of Signal Processing Systems*, 70(3), 305-328.
16. Popovic, V., Afshari, H., Schmid, A. and Leblebici, Y. (2013). Real-time implementation of Gaussian image blending in a spherical light field camera. *IEEE International Conference on Industrial Technology*, 1173-1178.
17. Akin, A., Cogal, O., Seyid, K., Afshari, H., Schmid, A. and Leblebici, Y. (2013). Hemispherical multiple camera system for high resolution omni-directional light field imaging. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 3(2), 137-144.
18. Seyid, K., Popovic, V., Cogal, O., Akin, A., Afshari, H., Schmid, A. and Leblebici, Y. (2015). A real-time multiaperture omnidirectional visual sensor based on an interconnected network of smart cameras. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 25(2), 314-324.
19. Zhang, C. and Chen, T. (2004). A self-reconfigurable camera array. *Association for Computer Machinery Transactions on Graphics Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques 2004 Sketches*, 151-151.
20. Tang, W. K., Wong, T. T. and Heng, P. A. (2005). A system for real-time panorama generation and display in tele-immersive applications. *IEEE Transactions on Multimedia*, 7(2), 280-292.
21. Tanimoto, M. (2012). FTV: Free-viewpoint television. *Signal Processing: Image Communication*, 27(6), 555-570
22. Xu, Y., Zhou, Q., Gong, L., Zhu, M., Ding, X. and Teng, R. K. (2014). High-Speed Simultaneous Image Distortion Correction Transformations for a Multicamera Cylindrical Panorama Real-time Video System Using FPGA. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 24(6), 1061-1069.
23. Cogal, O., Akin, A., Seyid, K., Popovic, V., Schmid, A., Ott, B. and Leblebici, Y. (2014). A new omni-directional multi-camera system for high resolution surveillance. *Proc. Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications*, 9120.
24. Flaugher, B. (2005). The dark energy survey. *International Journal of Modern Physics A*, 20(14), 3121-3123.

25. İnternet: 360 Degree Spherical Camera Systems, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ptgrey.com%2F360-degree-spherical-camera-systems&date=2016-09-27>, Son Erişim Tarihi : 20.08.2016.
26. Leininger, B., Edwards, J., Antoniadis, J., Chester, D., Haas, D., Liu, E., and Wein, S. (2008). *Autonomous real-time ground ubiquitous surveillance-imaging system (ARGUS-IS)*. SPIE Defense and Security Symposium, 69810H-69810H.
27. Marks, D. L., Son, H. S., Kim, J., Brady, D. J. (2012). Engineering a gigapixel monocentric multiscale camera. *Optical Engineering*, 51(8), 1-13.
28. Brady, D. J. *Gigapixel Television*, Presented at the 14th Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium, Shizuoka.
29. Brady, D. J., Marks, D. L., Feller, S., Gehm, M., Golish, D., Vera, E., Kittle, D. (2013). Petapixel photography and the limits of camera information capacity. *In IS&T/SPIE Electronic Imaging*, 86570B-86570B.
30. Brady, D. J., Gehm, M. E., Stack, R. A., Marks, D. L., Kittle, D. S., Golish, D. R., and Feller, S. D. (2012). Multiscale gigapixel photography. *Nature*, 486(7403), 386-389.
31. Marks, D. L., Llull, P. R., Phillips, Z., Anderson, J. G., Feller, S. D., Vera, E. M., and Brady, D. J. (2014). Characterization of the AWARE 10 two-gigapixel wide-field-of-view visible imager. *Applied optics*, 53(13), C54-C63.
32. Son, H. S., Marks, D. L., Youn, S. H., Brady, D. J., and Kim, J. (2013). Alignment and assembly strategies for AWARE-10 gigapixel-scale cameras. *SPIE Optical Engineering Applications*, 88360B-88360B.
33. İnternet: Ginsberg M. AWARE2 Multiscale Gigapixel Camera URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.disp.duke.edu%2Fprojects%2FAWARE%2F&date=2016-09-27>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2016.
34. Llull, P., Bange, L., Phillips, Z., Davis, K., Marks, D. L., and Brady, D. J. (2015). Characterization of the AWARE 40 wide-field-of-view visible imager. *Optica*, 2(12), 1086-1089.
35. Llull, P., Bange, L., Phillips, Z., Davis, K., Marks, D. L., and Brady, D. J. (2015). Characterization of the AWARE 40 wide-field-of-view visible imager. *Optica*, 2(12), 1086-1089.
36. İnternet : QG Camera Specs, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aqueti.com%2Faboutqg%2F&date=2016-09-27>, Son Erişim Tarihi : 24.08.2016.

37. Kawanishi, T., Yamazawa, K., Iwasa, H., Takemura, H., & Yokoya, N. (1998). Generation of high-resolution stereo panoramic images by omnidirectional imaging sensor using hexagonal pyramidal mirrors. *Proceedings. Fourteenth International Conference on Pattern Recognition*, 1, 485-489.
38. Tan, K. H., Hua, H., and Ahuja, N. (2004). Multiview panoramic cameras using mirror pyramids. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(7), 941-946.
39. Hua, H., Ahuja, N., and Gao, C. (2007). Design analysis of a high-resolution panoramic camera using conventional imagers and a mirror pyramid. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(2), 356-361.
40. Hua, H., and Ahuja, N. (2001). A high-resolution panoramic camera. *Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1, 960-967.
41. Shimamura, J., Yokoya, N., Takemura, H., and Yamazawa, K. (2000). Construction of an immersive mixed environment using an omnidirectional stereo image sensor. *Proceedings of IEEE Workshop on Omnidirectional Vision*, 62-69.
42. Fischler, M. A., and Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24(6), 381-395.
43. Schreer, O., Feldmann, I., Weissig, C., Kauff, P., and Schafer, R. (2013). Ultrahigh-resolution panoramic imaging for format-agnostic video production. *Proceedings of the IEEE*, 101(1), 99-114.
44. Fehrman, B., and McGough, J. (2014). Depth mapping using a low-cost camera array. *IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*, 101-104.
45. Moens, E., Meuret, Y., Ottevaere, H., Sarkar, M., Bello, D. S. S., Merken, P., and Thienpont, H. (2010). An insect eye-based image sensor with very large field of view. *SPIE Photonics Europe*, 77162D-77162D.
46. Hiura, S., Mohan, A., and Raskar, R. (2009). Krill-eye: Superposition compound eye for wide-angle imaging via GRIN lenses. *IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops*, 2204-2211.
47. Brückner, A., Duparré, J., Leitel, R., Dannberg, P., Bräuer, A., and Tünnermann, A. (2010). Thin wafer-level camera lenses inspired by insect compound eyes. *Optics Express*, 18(24), 24379-24394.
48. Di, S., Lin, H., & Du, R. (2009). An artificial compound eyes imaging system based on MEMS technology. *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 13-18.
49. Duparre, J. W., Schreiber, P., Dannberg, P., Scharf, T., Pelli, P., Völkel, R., and Bräuer, A. (2004). Artificial compound eyes: different concepts and their application for ultraflat image acquisition sensors. *In Micromachining and Microfabrication*, 89-100

50. Duparre J. W., Dannberg, P., Schreiber, P., Braeuer, A., and Tuennermann, A. (2004). Micro-optically fabricated artificial apposition compound eye. *Electronic Imaging*, 25-33.
51. Brückner, A., Duparrü, J., Brüner, A., and Tñrnermann, A. (2006). Artificial compound eye applying hyperacuity. *Optics express*, 14(25), 12076-12084.
52. Duparré, J., Dannberg, P., Schreiber, P., Bräuer, A., and Tünnermann, A. (2004). Artificial apposition compound eye fabricated by micro-optics technology. *Applied Optics*, 43(22), 4303-4310.
53. İnternet : Anatomy of the SIFT Method URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ipol.im%2Fpub%2Fart%2F2014%2F82%2F&date=2016-09-27> , Son Erişim Tarihi : 27.09.2016.
54. Otero, I. R. (2015), *Anatomy of the SIFT Method*, Unpublished Doctoral Thesis, École normale supérieure de Cachan, Cachan.
55. Land, M. F. (1997). Visual acuity in insects. *Annual review of entomology*, 42(1), 147-177.
56. Land, M. F. (1997). Microlens arrays in the animal kingdom. *Pure and Applied Optics: Journal of the European Optical Society Part A*, 6(6), 599.
57. Land, M. F. (1997). Microlens arrays in the animal kingdom. *Pure and Applied Optics: Journal of the European Optical Society Part A*, 6(6), 599.
58. Franceschini, N., Pichon, J. M., Blanes, C., & Brady, J. M. (1992). From insect vision to robot vision [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 337(1281), 283-294.
59. Horridge, G. A., & Longuet-Higgins, H. C. (1992). What can engineers learn from insect vision [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 337(1281), 271-282.
60. Srinivasan, M. V., Thurrowgood, S., & Soccol, D. (2009). Competent vision and navigation systems. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 16(3), 59-71.
61. Warrant, E., Oskarsson, M. and Malm, H. (2014). The remarkable visual abilities of nocturnal insects: neural principles and bioinspired night-vision algorithms. *Proceedings of the IEEE*, 102(10), 1411-1426.
62. Luke, G. P., Wright, C. H. and Barrett, S. F. (2012). A multiaperture bioinspired sensor with hyperacuity. *IEEE Sensors Journal*, 12(2), 308-314.
63. Nehorai, A., Liu, Z. and Paldi, E. (2006). *Optimal design of a generalized compound eye particle detector array*. Proc. Defense and Security Symposium, 62320O-62320O.
64. Zbikowski, R. (2005). Fly like a fly [micro-air vehicle]. *IEEE Spectrum*, 42(11), 46-51.

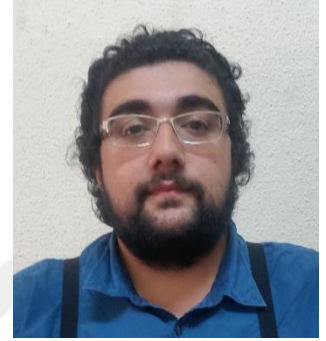
65. Nehorai, A., Liu, Z. and Paldi, E. (2006). Optimal design of a generalized compound eye particle detector array. *In Defense and Security Symposium. International Society for Optics and Photonics*, 62320O-62320O.
66. Duparre, J., Volkel, R. (2006) Novel optics/micro-optics for miniature imaging systems. *In: Photonics Europe. International Society for Optics and Photonics*, 619607-619607-15.
67. Song, Y. M., Xie, Y., Malyarchuk, V., Xiao, J., Jung, I., Choi, K. J. and Li, R. (2013). Digital cameras with designs inspired by the arthropod eye. *Nature*, 497(7447), 95-99.
68. Kopf, J., Uyttendaele, M., Deussen, O. and Cohen, M. F. (2007). Capturing and viewing gigapixel images. *In ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 26(3), 93.
69. Cao, Z. L., Oh, S. J. and Hall, E. L. (1985). Dynamic omnidirectional vision for mobile robots. *In 1985 Cambridge Symposium. International Society for Optics and Photonics*, 405-414.
70. Roning, J. J., Cao, Z. L. and Hall, E. L. (1987). Color target recognition using omnidirectional vision. *In Cambridge Symposium Intelligent Robotics Systems. International Society for Optics and Photonics*, 57-64.
71. Cao, Z. and Hall, E. L. (1990). Beacon recognition in omni-vision guidance. *In Proceedings of the International Conference on Optoelectronic Science and Engineering*, 778-790.
72. Elkins, R. T. and Hall, E. L. (1994, October). Three-dimensional line following using omnidirectional vision. *In Photonics for Industrial Applications. International Society for Optics and Photonics*, 130-144.
73. Matthews, B. O., Perdue, D. and Hall, E. L. (1995). *Omnidirectional vision applications for line following. In Photonics East'95. International Society for Optics and Photonics*, 438-449.
74. Burt, P. J. and Adelson, E. H. (1983). A multiresolution spline with application to image mosaics. *ACM Transactions on Graphics*, 2(4), 217-236.
75. Yasushi, Y. A. G. I. (1999). Omnidirectional sensing and its applications. *IEICE transactions on information and systems*, 82(3), 568-579.
76. Yagi, Y. and Kawato, S. (1990). Panorama scene analysis with conic projection. *In Intelligent Robots and Systems' 90. 'Towards a New Frontier of Applications', Proceedings. IROS'90. IEEE International Workshop*, 181-187.
77. Yagi, Y., Kawato, S. and Tsuji, S. (1994). Real-time omnidirectional image sensor (COPIS) for vision-guided navigation. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 10(1), 11-22.
78. Hong, J. W., Tan, X., Pinette, B., Weiss, R. and Riseman, E. M. (1990). Image-based navigation using 360 views. *In Proceedings of the Image Understanding Workshop*, 782-791.
79. Hong, J., Tan, X., Pinette, B., Weiss, R., & Riseman, E. M. (1992). Image-based homing. *IEEE Control Systems*, 12(1), 38-45.

80. Yamazawa, K., Yagi, Y. and Yachida, M. (1993). Omnidirectional imaging with hyperboloidal projection. In *Intelligent Robots and Systems' 93. Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference*, 2, 1029-1034.
81. Yachida, M. (1998). Omnidirectional sensing and combined multiple sensing. In *Computer Vision for Virtual Reality Based Human Communications, Proceedings 1998 IEEE and ATR Workshop*, 20-27.
82. Peri, V. and Nayar, S. K. (1996). Omnidirectional video system. In *Proc. US-Japan Graduate Student Forum in Robotics*, 28-31.
83. Nayar, S. K. (1997). Catadioptric omnidirectional camera. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. Proceedings 1997 IEEE Computer Society Conference*, 482-488.
84. Riley, D. T., Harmann, W. M., Barrett, S. F. and Wright, C. H. G. (2008). Musca domestica inspired machine vision sensor with hyperacuity. *Bioinspiration & biomimetics*, 3(2), 026003.
85. Lee, L. P. and Szema, R. (2005). Inspirations from biological optics for advanced photonic systems. *Science*, 310(5751), 1148-1150.
86. Internet: Google street view: Capturing the world at street level, URL : <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fstatic.googleusercontent.com%2Fmedia%2Fresearch.google.com%2Fen%2F%2Fpubs%2Farchive%2F36899.pdf&date=2016-09-27> , Son Erişim Tarihi 27.09.2017.
87. Brown, M., & Lowe, D. G. (2007). Automatic panoramic image stitching using invariant features. *International journal of computer vision*, 74(1), 59-73.
88. Güzel, M., Unal, M. (2015). A Survey of Insect Eye Inspired Sensors. *Proc. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 139 - 142

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜZEL, Metehan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.08.1990, Malatya
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (533) 456 67 80
 E-mail : metehanguzel@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Bilgisayar Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi /Bilgisayar Mühendisliği	2012
Lise	Gazi Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Güzel, M., Unal, M. (2015, Kasım). A Survey of Insect Eye Inspired Sensors. *9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*

Hobiler

Kitap okuma, Sinema, Gezi



GAZİ GELECEKTİR..