

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ GÖRÜNTÜ AKTARIMI İLE
YER BELİRLEME AMAÇLI BİR MOBİL ROBOT UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ezgi ERİŞTİ**

Anabilim Dalı : Mekatronik Mühendisliği

Programı : Mekatronik Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ GÖRÜNTÜ AKTARIMI İLE
YER BELİRLEME AMAÇLI BİR MOBİL ROBOT UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ezgi ERİŞTİ
(518061005)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Levent OVACIK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ata MUĞAN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Serhat İKİZOĞLU (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Son yıllarda kablosuz uygulamalar, özellikle ulaşılması ve çalışılması zor olan ortamlarda giderek önemini arttırmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte günümüzde pek çok yöntem ile kablosuz görüntü aktarımı yapılabilmektedir. Görüntünün kablosuz olarak iletilmesiyle birlikte hem kurulumdan kaynaklanan zaman kaybı hem de kablodan kaynaklanan fiziki bağımlılık ortadan kalkmıştır. Bir yandan mobilitenin ve buna bağlı olarak veri iletişim hızının artması, diğer yandan elektronik parçaların boyutlarının küçülmesi sınır tanımayan fikirlerin hayata geçirilmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında güncel görüntü işleme teknikleri kullanılarak bilgisayarla görmenin önemli alanlarından biri olan yer belirleme (İng. Localization) uygulaması farklı yüzeyler üzerinde test edilmiştir..

Gerçek zamanda optik akış yöntemi ile hareket miktarının tespit edilmesi esasına dayanan çalışmamın benzer alanlarda araştırma yapmak isteyenlere faydalı olmasını dilerim.

Bu konuda tez çalışması yapmama olanak sağlayan, tezimin her aşamasında desteklerini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Levent OVACIK'a, her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Seyhan YAMAÇ ve Serkan MENTEŞ'e, yaşamım boyunca maddi manevi katkıda bulunan aileme ve bütün değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

HAZİRAN 2009

Ezgi Erişti
Teknik Öğretmen

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ ve LİTERATÜR ÖZETİ.....	1
2. KABLOSUZ GÖRÜNTÜ AKTARIMI.....	3
2.1 Kablosuz Görüntü Aktarım Yöntemleri	3
2.1.1 Karasal Televizyon Sistemleri	7
2.1.2 Bluetooth.....	8
2.1.3 Mobil Teknolojiler.....	9
2.2 RF Kameranın Sisteme Entegrasyonu	10
2.2.1 Kullanılan kameranın özellikleri	11
2.2.2 Kamera kalibrasyonu	12
2.3 Görüntünün Bilgisayar Ortamına Aktarılması.....	13
2.3.1 Kullanılan televizyon (TV) kartının özellikleri.....	13
2.4 Görüntü Aktarımı İçin Kullanılan Sistem.....	15
2.4.1 Kullanılan Mobil Robot Donanımı 1.....	15
2.4.2 Kullanılan Mobil Robot Donanımı 2.....	16
2.5 Görüntü Aktarımı İçin Kullanılan Sistemin Akış Diyagramı	17
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	19
3.1 Dikdörtgen Yörüngede Yer Belirleme Testi.....	21
3.2 Dairesel Yörüngede Yer Belirleme Testi	22
3.3 Uygulamada Karşılaşılan Zorluklar	23
3.3.1 Kablosuz kameradan alınan görüntünün kalitesi	23
3.3.2 Kamera distorsiyonu.....	24
3.3.3 Görüntü kalitesinin sürüş hızından etkilenmesi	26
3.3.4 Görüntü kalitesinin elektromanyetik girişimden etkilenmesi	27
3.3.5 Yakalanan görüntü üzerindeki özniteliklerin yanlış eşleştirilmesi	30
3.3.6 Karşılaşılan diğer zorluklar	30
3.4 Genel Değerlendirme.....	31
KAYNAKLAR.....	33

KISALTMALAR

USB	: Evrensel Seri Yolu (İng. Universal Serial Bus)
µc	: Mikrodenetleyici (İng. Micro Controller)
PIC	: Microchip firmasının ürettiği mikrodenetleyici serisi (İng. Programmable Intelligent Computer)
DC	: Doğru Akım (İng. Direct Current)
FPS	: Saniyedeki Çerçeve Sayısı (İng. Frame Per Second)
CMOS	: Diyot Dizili Kamera Sistemi (İng. Complementary Metal–Oxide–Semiconductor)
CCD	: Yük Bağlaşmalı Kamera Sistemi (İng. Charge-Coupled Device)
RCA	: Video/ses iletiminde kullanılan bir tür bağlantı kablosu (İng. Radio Corporation of America)
VCR	: Video Kayıt Cihazı (İng. Video Cassette Recorders)
DVB	: Sayısal Televizyon Yayını (İng. Digital Video Broadcasting)
DVB-T	: Karasal Sayısal Televizyon Yayını (İng. Digital Video Broadcasting - Terrestrial)
DVB-S	: Uydu Sayısal Televizyon Yayını (İng. Digital Video Broadcasting - Satellite)
DVB-C	: Kablolu Sayısal Televizyon Yayını (İng. Digital Video Broadcasting - Cable)
PAL	: Satırdan Satıra Faz Değiştirme (Analog renkli TV sistemi – Avrupa) (İng. Phase Alternating Line)
NTSC	: Analog renkli TV sistemi - Amerika (İng. National Television System Committee)
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (İng. Institute of Electrical and Electronics Engineers)
WPAN	: Kablosuz Kişisel Alan Ağı (İng. Wireless Personal Area Network)
MPEG	: Hareketli Resim Uzmanları Grubu (İng. Moving Picture Experts Group)
QPSK	: Dikgen Faz Ötelemeli Anahtarlama (İng. Quadrature Phase Shift Keying)
SECAM	: Hafızalı Ardışıl Renk (Analog renkli TV sistemi – Fransa) (Fre. Séquentiel Couleur À Mémoire) (İng. Sequential Color with Memory)
QAM	: Dikgen Genlik Kipleme (İng. Quadrature Amplitude Modulation)

RF	: Radyo Frekansı (İng. Radio Frequency)
AM	: Genlik Modülasyonu (İng. Amplitude Modulation)
FM	: Frekans Modülasyonu (İng. Frequency Modulation)
MR	: Manyetik Rezonans (İng. Magnetic Resonance)
ELF	: Çok Çok Düşük Frekans (İng. Extremely Low Frequency)
SLF	: Süper Düşük Frekans (İng. Super Low Frequency)
ULF	: Ultra Düşük Frekans (İng. Ultra Low Frequency)
VLf	: Çok Düşük Frekans (İng. Very Low Frequency)
LF	: Düşük Frekans (İng. Low Frequency)
MF	: Orta Frekans (İng. Medium Frekans)
HF	: Yüksek frekans (İng. High Frequency)
VHF	: Çok Yüksek Frekans (İng. Very High Frequency)
UHF	: Ultra Yüksek Frekans (İng. Ultra High Frequency)
SHF	: Süper Yüksek Frekans (İng. Super High Frequency)
EHF	: Çok Çok Yüksek Frekans (İng. Extremely High Frequency)
GSM	: Mobil İletişim Sistemi (İng. Global System for Mobile communication)
ISM-Band	: Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal Amaçlı Kullanılan RF Bandı (İng. Industrial Scientific Medical Band)
RGB	: (İng. Red Green Blue)
WiMAX	: (İng. Worldwide Interoperability for Microwave Access)
MHEG-5	: İngiliz Dijital Teletext Servisi
CINCH	: RCA olarak da bilinen bağlantı kablosu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : IEEE 802 kodlu Standartları.....	5
Çizelge 2.2 : Çeşitli radyo dalgalarının sembolleri, frekans aralıkları, dalga boyları ve kullanım alanları.	6
Çizelge 2.3 : Analog TV iletim standartları.....	7
Çizelge 2.4 : Sayısal televizyon sistemlerinde kullanılan modülasyon teknikleri.....	8
Çizelge 2.5 : Seviyelere göre MPEG-2 standardı veri hızları.....	8
Çizelge 2.6 : Enerji sınıfına göre bluetooth haberleşme mesafeleri.....	9
Çizelge 2.7 : Bluetooth veri iletişim hızları.	9

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Sırt çantasına bağlanan kamera ile lokalizasyonun tespit edilmesi.....	2
Şekil 2.1 : Kablosuz veri iletimi.....	3
Şekil 2.2 : RF sinyalleri ile görüntü ve ses alıp gönderebilen kablosuz kamera	10
Şekil 2.3 : Örnek CINCH bağlantı kablosu (2 x Cinch erkek , 2 x Cinch dişi)	10
Şekil 2.4 : Kamera sistemi ve montaj şekli.....	11
Şekil 2.5 : AverTV Hybrid Volar HX model televizyon kartı.....	13
Şekil 2.6 : S-Video ve Kompozit girişler.....	13
Şekil 2.7 : AverTV Hybrid Volar HX için genel amaçlı bağlantı şeması	14
Şekil 2.8 : Görüntü aktarımı için kullanılan sistem : (a) RF Alıcı Ünitesi, TV kartı ve diz üstü bilgisayar (b) Üzerinde RF Kamera bulunan mobil robot.....	15
Şekil 2.9 : Deneylerde kullanılan robot sistemi 1	15
Şekil 2.10 : 1. Robot sisteminin donanımı.....	16
Şekil 2.11 : Deneylerde kullanılan robot sistemi 2	16
Şekil 2.12 : Yer belirleme için kullanılan görsel odometri algoritması	17
Şekil 3.1 : Test Yüzeyleri a) Halı, b) Muşamba, c) Jelatin, d) Parke, e) Tahta.	20
Şekil 3.2 : Dikdörtgen bir yörüngede farklı yüzeyler için elde edilen test sonuçları: a) Test edilen (30 x 40 cm) dikdörtgen yörünge, b) Halı yüzey üzerinde test sonucu, c) Muşamba yüzey üzerinde test sonucu, d) Jelatin yüzey üzerinde test sonucu, e) Parke yüzey üzerinde test sonucu, f) Tahta yüzey üzerinde test sonucu.	21
Şekil 3.3 : Dairesel bir yörüngede farklı yüzeyler için elde edilen test sonuçları: a) Test edilen daire (r=28cm) yörünge, b) Halı yüzey üzerinde test sonucu, c) Muşamba yüzey üzerinde test sonucu, d) Jelatin yüzey üzerinde test sonucu, e) Parke yüzey üzerinde test sonucu, f) Tahta yüzey üzerinde test sonucu.	22
Şekil 3.4 : JMK WS-309AS kablosuz kamera görüntüsü (720 x 576).....	23
Şekil 3.5 : Microsoft LifeCam VX-1000 kablolu kamera görüntüsü (320x240).....	23
Şekil 3.6 : Teğetsel distorsiyonun oluşumu	24
Şekil 3.7 : Radyal distorsiyon	25
Şekil 3.8 : Kullanılan kablosuz kamerada oluşan radyal distorsiyon etkisi : a) Görüntülenmek istenen kareli yüzey, b) Radyal distorsiyon etkisi.....	25
Şekil 3.9 : Kablosuz kameradan (JMK WS-309AS) hareketsizken ve farklı hızlarda hareket halinde iken alınan orijinal görüntü dizileri.	26
Şekil 3.10 : Robot hareketsizken kablosuz kameradan alınan orijinal görüntü.....	27
Şekil 3.11 : Robot hareket halindeyken meydana gelen çizgi gürültüsü.....	27
Şekil 3.12 : Gürültü etkisi 1: a) Robot hareketsizken alınan görüntü b), c), d) Çeşitli elektromanyetik girişim etkileri	28
Şekil 3.13 : Gürültü etkisi 2: a) ve b) Tek olan yüzey çizgisinin, çift görünmesi.	28

Şekil 3.14 : Gürültü etkisi 3 : a), b), c), d), e) ve f) Aşırı bozulmuş görüntü dizileri	29
Şekil 3.15 : Özniteliklerin belirlenmesi ve eşleştirilmesi : a) İlk çerçevede tespit edilen öznitelikler, b) İlk çerçevede tespit edilen özniteliklerin ikinci çerçevedeki konumları, c) Her iki çerçevede de yer alan özniteliklerin birlikte gösterilmesi, d) Optik akış vektörleri.	30
Şekil 3.16 : İkiz yanılması olayının görülebileceği örnek yüzey.....	31

KABLOSUZ GÖRÜNTÜ AKTARIMI İLE YER BELİRLEME AMAÇLI BİR MOBİL ROBOT UYGULAMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında, tekerlekli ve kumandalı bir mobil robot üzerine yerleştirilen kablosuz kamera sayesinde görüntü işleme teknikleri kullanılarak göreceli pozisyon bilgisi elde etmek suretiyle robotun toplam hareket miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Mobil robot üzerine geri besleme sağlayacak herhangi bir algılayıcı özellikle monte edilmeyip yer belirleme için sadece kablosuz kameradan sağlanan görüntü bilgisi kullanılmıştır.

Kameradan alınan görüntü zaman zaman bilgisayarın işleme kapasitesini zorlayacak seviyede olabilir. Böyle durumlarda görüntünün çözünürlüğüne ve kalitesine (gürültüye dayanıklılık) bağlı olarak işlenmesi için özel donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada maliyeti ve çözünürlüğü düşük bir kablosuz kameradan gelen bilgi, evrensel seri yolu (USB) girişinden bağlı bir televizyon kartı aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmış, böylece işlem yükü önemli ölçüde azaltılmıştır.

Günümüzde görüntü/işaret işleme amacıyla üretilmiş çeşitli mikro denetleyiciler (μ c) bulunmaktadır. Bu özel amaçlı donanımların robot üzerine monte edilmesi ile de görüntü işlenebilir ancak bu şekilde kurulan sistemin robot üzerinde oluşturacağı fiziksel / donanımsal yük göz önüne alındığında küçük boyuttaki robotlar için bunun ideal olmadığı açıktır. Kurduğumuz sistemde de görüntünün yakalanması (İng. capture) için kullanılan donanım robot üzerinde değil, robotun dışında olan merkezi bir bilgisayar üzerindedir.

Tez temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde optik akışın işlevi ve yaygın olarak kullanıldığı alanlardan kısaca bahsedilmiştir. İkinci bölümde kablosuz görüntü aktarım yöntemleri ve belli başlı haberleşme standartlarına yer verilerek bu tez kapsamında oluşturulan sistemin donanım altyapısı anlatılmıştır. Ayrıca robot hareketini hesaplamak için kullanılan görüntü işleme algoritmasına da bu bölümde yer verilmiştir. Son bölümde ise çeşitli yüzeyler üzerinde testler yapılarak yer belirleme (İng. Localization) uygulamasının doğruluğu sınanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

A MOBILE ROBOT APPLICATION FOR LOCALIZATION VIA VIDEO TRANSMISSION OVER WIRELESS COMMUNICATION

SUMMARY

In this thesis, it has been worked on to calculate the total amount of motion and relative position information of a wheeled and remotely controlled mobile robot with the help of the image processing techniques, using a wireless camera mounted on top of a mobile robot. Particularly, none of any feedback sensors are mounted on the mobile robot; video information has only been supplied from the mounted wireless camera.

Sometimes, it is difficult for the computers to process the video information supplied from a camera. In this case, some special hardware is required to process video images based on their resolution and quality (with low noise level). At this point, the video signal, that has been supplied from both the low-cost and low-resolution wireless camera, has been transferred to the computer environment via a USB connected TV-Card so that the process load has significantly been reduced.

Today, there are various microcontrollers manufactured for image/signal processing purposes. The image might also be processed by mounting such microcontroller on the mobile robot, but it is obvious that it is not an ideal hardware configuration for these kind of small robot systems, when we consider the physical/hardware load on such configuration. The hardware that is used for capturing images in the system we established is not mounted on the mobile robot, rather we placed the image capturing and image processing load on a remote computer.

The thesis mainly consists of three chapters. In the first chapter, widely usage area and the role of optical flow are briefly mentioned. In the second chapter, wireless data communication methods and standards of fundamental data transfer are presented and a required hardware infrastructure of the system is explained. In addition, the image processing algorithm used for calculating the mobile robot motion is also presented in this chapter. Lastly, tests are implemented on several surfaces to verify the accuracy of localization application and these test results are interpreted.

1. GİRİŞ ve LİTERATÜR ÖZETİ

Kablosuz iletişim teknolojisi, havadan yayılan elektromanyetik dalgaların bir noktadan başka bir noktaya fiziksel bağlantı olmaksızın belirli bir frekans kanalında iletildiği bir iletişim yöntemidir [1]. Radyo frekansı teknolojisi, sırası ile veriyi iletmek ve almak için yapılandırılmış verici ve alıcı devreleri ile verilen frekans değerlerine göre çalışır. Verici gücü ve alıcı duyarlılığı ne kadar mesafede haberleşmenin sağlanabileceğini belirler. Kısa menzilli haberleşme sistemleri genellikle düşük güce gereksinim duyar. Böylece kısa-menzil için tasarlanmış olan teknolojiler, taşınabilir küçük cihazlar için uygulanabilir [2].

Kızılötesi teknolojisi gibi teknolojilerde birçok cisim haberleşmeye engel olmaktadır, RF teknolojisinde genel olarak bu sorunla karşılaşılmaz. RF teknolojisinde, verici ve alıcı devrelerinin veri alışverişini sağlamak için her hangi bir görüş hattına gereksinim duyulmaz. RF sinyali, birçok bina materyalinin içine sızabilir. Bu yüzden kapalı ve açık alanlarda rahatlıkla kullanılabilir [1].

RF teknolojisi, belirli bir frekans spektrumunda bilgilerin kodlanması ve alıcının bu verileri belirli bir frekans değerinde alabilmesi için frekans modülasyonu kullanılır. Örneğin; fm radyo yayını 88-108 Mhz spektrumunda, bazı cep telefonları 900-1800 Mhz spektrumunda, bluetooth kablosuz haberleşme teknolojisi ve diğer teknolojiler 2.4 GHz frekans spektrumunda çalışırlar [3].

Görüntülerin kamera ile gerçek ortamdan alınarak bilgisayar ortamına aktarılması ve sayısallaştırıldıktan sonra isteğe göre işlenmesi görüntü işleme konusu içerisine girer [4].

Görüntüler üzerinde özniteliklerin belirlenmesi ve eşleştirilmesinden sonra eşleştirilen özniteliklerin her bir görüntü çiftindeki yer değiştirme miktarı fiziksel ortamda belli bir yer değiştirmeye denk gelmektedir. Ne kadarlık bir yer değiştirme olduğu sorusundan yola çıkarak görsel odometri algoritması oluşturulur.

Görsel odometri, robot üzerinde bulunan kameradan alınan görüntüler üzerinde optik akış vektörlerinin bulunması yöntemiyle oluşturulabilir [5].

Bu vektörler düzgün bir şekilde incelendiğinde robotun bulunduğu ortam ve robotun kendi hareketi ile ilgili olarak aşağıdaki sorulara cevaplar bulunabilir [6].

- Kaç tane hareket eden cisim var?
- Hangi yönlere hareket ediyorlar?
- Düzgün mü yoksa belirli bir fonksiyona göre mi hareket ediyorlar?
- Ne kadar hızlılar?

Günümüzde Lucas ve Kanade [7] tarafından literatüre kazandırılan Lucas-Kanade Optik Akış algoritması pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde iki görüntü çerçevesi arasındaki hareket her piksel konumunda hesaplanmaya çalışılmaktadır. Bunun için önce görüntü dizileri yumuşatılır ve yüksek frekanslı bileşenler atılır. Daha sonra belirlenen pencere büyüklüğüne bağlı olarak gradyan tahmini yapılır [8].

Optik akışın yaygın olarak kullanıldığı alanlardan bazıları, yer ve hız belirleme uygulamalarıdır. Örneğin bir trafik kamerasından çekilen görüntü işlenerek, trafiğin akış hızı tespit edilebilir. Diğer taraftan Şekil 1.1’de görüldüğü üzere Diverdi ve Hollerer’in yaptığı [9] çalışmadaki gibi bir sırt çantasına bağlanan kameradan alınan görüntü ile hareket eden kişiye ait lokalizasyon bilgisi alınabilir.



Şekil 1.1 : Sırt çantasına bağlanan kamera ile lokalizasyonun tespit edilmesi

Yer belirleme (İng. Localization) uygulamalarının çok kullanıldığı diğer bir alan optik farelerdir. Optik fareler de içerisinde yer alan kamera sayesinde fare hareketinin hesaplanabilmesi için görüntü işleme tekniklerini kullanır [10].

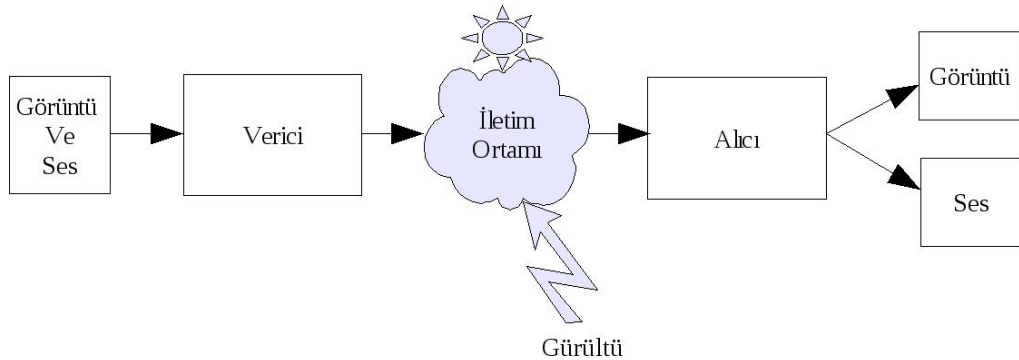
2. KABLOSUZ GÖRÜNTÜ AKTARIMI

2.1 Kablosuz Görüntü Aktarım Yöntemleri

Haberleşme, ilk çağlardan günümüze ivmelenerek gelişme gösteren, çağımızın da vazgeçilmez teknoloji alanlarından biridir. Özellikle son yüzyılda Fizik bilimindeki gelişmeler kuşkusuz haberleşme sektöründeki gelişmeyi de hızlandırmıştır. Geçtiğimiz yüzyılın başında ve ortalarında sesin iletimi konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmişken, yarı iletken teknolojisi ve buna bağlı olarak bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler sesin yanı sıra veri transferini de olanaklı kılmıştır. Son 15-20 sene içerisinde de ses ve verinin kablosuz ortamdan iletilmesi konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiş, bu gelişmeler günümüzde de hızlanarak devam etmektedir.

Kablosuz haberleşme teknolojisi ile temel olarak birden fazla cihaz birbiriyle fiziksel bir bağlantıya gerek duymadan ses-veri alışverişinde bulunabilmektedir. Bu durum, sorunsuz bir veri iletişimi için ortak bir takım standartlara uyulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Kablosuz iletimin en önemli kullanım alanlarından birisi karasal televizyon sistemleridir. Çoğunlukla bir kameradan çıkan görüntü bilgisi, ses ile birlikte belli iletim standartları çerçevesinde sınırlı bir karasal alanda iletme bırakılır, alıcı taraf bu bilgileri alır, işler ve görüntü ve ses cihazına aktarır [11].



Şekil 2.1 : Kablosuz veri iletimi

Karasal televizyon sistemlerinde, analog iletim kapsamında, en çok kullanılan 3 temel iletim standardı PAL (Avrupa), NTSC (Amerika) ve SECAM (Fransa)'dır.

Karasal televizyon sistemlerinin yanı sıra, son yıllarda bilgisayar ve mobil teknolojilerindeki ilerlemeler ses ve verinin kablosuz olarak iletimindeki ilerlemeyi de beraberinde getirmiştir. Bu noktada, ikiden daha fazla cihazın birbirleriyle haberleşebilmesi için de “ağ” teknolojileri kavramı ön plana çıkmaktadır [12]. Oluşturulan yerel veya metropoliten bir ağ içerisinde cihazlar, birbiriyle belirli standartlar çerçevesinde kablolu ya da kablosuz olarak haberleşebilmektedir.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)'nin çeşitli iletişim teknolojileri konusunda sunduğu standartlar tüm dünyada kabul görmüş, firmalar bu standartlara uygun olarak ürünlerini kullanıma sunmuşlardır.

IEEE'nin 802 kodlu standartları, bu yerel ve metropoliten ağ sistemleri için oluşturulmuştur [13,14]. Çizelge 2.1'de, IEEE'nin 802 kodlu standartları ve kısa açıklamaları yer almaktadır [14].

Radyo frekansı (RF), 3 Hz ile 300 GHz arasında bir noktadaki dalga salınımını (osilasyon) temsil eden frekans olarak tanımlanmaktadır [15]. Bu aralık genel olarak, kaynağın alternatif olarak değiştiği elektrik devrelerinde, bir radyo dalgası yaratmak veya almak amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle radyo frekansı deyimi, alternatif akımla çalışan elektriksel devrelerde kullanılmaktadır [16].

Çizelge 2.2'de, radyo frekansı tanımında verilmiş olan frekans aralığındaki radyo dalgalarının sembolleri, bölümlenmiş frekans aralıkları, dalga boyları ve kullanım alanları özetlenmeye çalışılmıştır [15,17].

Çizelge 2.1 : IEEE 802 kodlu Standartları

Standart	Açıklama
IEEE 802	Yerel ve Metropolitan Alan Ağları - Mimarisi
IEEE 802.1	Yerel ve Metropolitan Alan Ağları – Sanal köprülü yerel alan ağları (Virtual Bridged Local Area Networks)
IEEE 802.2	Lojik Link Kontrol (Logical Link Control)
IEEE 802.3	Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim (CSMA – Carrier Sense Multiple Access)
IEEE 802.4	Jeton-Gezici Yol Erişim Metodu (Token-Passing Bus Access Method)
IEEE 802.5	Jeton-Halka Erişim Metodu (Token-Ring Method)
IEEE 802.6	Metropolitan Yerel Ağların Altağları için Dağıtılmış Kuyruk Çiftli Yol Erişim Metodu (Distributed Queue Dual Bus subnetwork of a Metropolitan Area Network)
IEEE 802.7	Genişbant Yerel Alan Ağları (Broadband Local Area Networks)
IEEE 802.8 (Taslak)	Fiber Optik Yerel ve Metropolitan Alan Ağları (Fiber Optic Local and Metropolitan Area Networks)
IEEE 802.9	Tümleşik Hizmetler Yerel Alan Ağları (Integrated Services Local Area Networks)
IEEE 802.10	Birlikte Çalışabilen Yerel ve Metropolitan Alan Ağları Güvenliği (Interoperable Local and Metropolitan Area Networks Security)
IEEE 802.11	Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks)
IEEE 802.12	İhtiyaç Öncelikli Erişim Metodu (Demand Priority Access Method)
IEEE 802.14 (Taslak)	Kablo Televizyon Erişim Metodu (Cable-TV Access Method)
IEEE 802.15	Kablosuz Kişisel Alan Ağları (Wireless Personal Area Networks)
IEEE 802.16	Kablosuz Metropolitan Alan Ağları (Wireless Metropolitan Area Networks)
IEEE 802.17	Dirençli Paket Halka Erişim Metodu (Resilient Packet Ring Access Method)
IEEE 802.20	Mobil Genişbant Kablosuz Erişim (Mobile Broadband Wireless Access)
IEEE 802.21	Medya Bağımsız Devretme (Media Independent Handover)
IEEE 802.22	Kablosuz Bölgesel Alan Ağları (Wireless Regional Area Networks)

Çizelge 2.2 : Çeşitli radyo dalgalarının sembolleri, frekans aralıkları, dalga boyları ve kullanım alanları.

Sembol	Frekans	Dalga Boyu	Kullanım Alanları
ELF	3 – 30 Hz	10000 – 100000 km	- Duyulabilir ses - Denizaltı haberleşmesi
SLF	30 – 300 Hz	1000 – 10000 km	- Duyulabilir ses - Şehir şebeke elektrik iletimi
ULF	300 – 3000 Hz	100 – 1000 km	- Duyulabilir ses - Mayın deteksiyonu
VLF	3 – 30 kHz	10 – 100 km	- Duyulabilir ses (20 kHz'e kadar)
LF	30 – 300 kHz	1 – 10 km	- AM Radyo yayını - Amatör radyo çalışmaları - Navigasyon fenerleri
MF	300 – 3000 kHz	100 – 1000 m	- AM Radyo yayını - Amatör radyo çalışmaları - Navigasyon fenerleri - Deniz ve havacılık haberleşmesi
HF	3 – 30 MHz	10 – 100 m	- Amatör radyo çalışmaları
VHF	30 – 300 MHz	1 – 10 m	- FM Radyo yayını - Amatör radyo çalışmaları - Karasal televizyon yayını - Havacılık haberleşmesi - Radarlar - MR görüntüleme sistemleri
UHF	300 – 3000 MHz	10 – 100 cm	- Karasal televizyon yayını - Amatör radyo çalışmaları - GSM - Kablosuz telefonlar - Kablosuz Ağ haberleşmesi - Mikrodalga sistemler - Radarlar
SHF	3 – 30 GHz	1 – 10 cm	- Kablosuz Ağ haberleşmesi - Uydu haberleşmesi - Mikrodalga sistemler - Açılır/kapanır kapı sistemleri
EHF	30 – 300 GHz	1 – 10 mm	- Mikrodalga sistemler - Radyo astronomi - Uzaktan algılama - Gelişmiş silah endüstrisi

2.1.1 Karasal Televizyon Sistemleri

Görüntünün elektriksel bir işarete çevrilip karşı tarafa yollanması işlemi ilk olarak karasal televizyon sistemleri ile başlamıştır. Analog sistemlerde, resim veya video vericisinde genlik modülasyonu, ses vericisinde ise daha çok frekans modülasyonu kullanılmaktadır [11]. Sayısal sistemlerde ise görüntü önce MPEG standardına uygun olarak sıkıştırıldıktan sonra COFDM modülasyonu ile gönderilir [11].

Dünya üzerinde, analog yayın sistemlerinde genel olarak 3 farklı sistem kullanılmaktadır. İlk renkli TV sistemi halen Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan ve orada geliştirilen NTSC sistemidir. Daha sonra, daha çok Avrupa'da kullanılan ve NTSC sisteminde meydana gelen sinyalleşme sırasındaki faz hatalarını ortadan kaldırmayı amaçlayan, türkçeye “satırdan satıra faz değiştirme” olarak çevrilebilecek PAL sistemi geliştirilmiştir. 1956 yılında, Fransa'da Henri de France tarafından parlaklık ve renk işaretini aynı anda gönderme esasına dayalı SECAM sistemi geliştirilmiştir [11].

Bu üç yayın sinyalinin video bant genişlikleri Çizelge 2.3'te [18] verilmiştir:

Çizelge 2.3 : Analog TV iletim standartları.

Sistem	Video Bant Genişliği
NTSC	4.2 MHz
PAL	5 MHz
SECAM	5 MHz

Günümüzde analog televizyon yayınları varlığını devam ettirse de, yakın gelecekte analog sistemlerin yerini sayısal televizyon sistemlerinin (DVB) alacağı kesindir [11]. Sayısal bir işarete çevrilen analog sinyal, önce MPEG standardına uygun olarak sıkıştırılmaktadır. MPEG-2 Ana Seviye (MPEG-2 Main Level) standart kalitede bir televizyon yayınında kullanılır. Yüksek kaliteli bir sayısal yayın için ise MPEG-2 Yüksek Kalite (MPEG-2 High Level) sıkıştırma yöntemi kullanılır. Sıkıştırılan bu görüntü belirli bir modülasyon tekniği ile karşı tarafa iletilmektedir. Çizelge 2.4'te Avrupa'da sayısal TV yayın sistemleri için kullanılan modülasyon teknikleri, Çizelge 2.5'te ise MPEG-2 standardı için, satırdaki örnek, çerçevedeki satır ve saniyedeki çerçeve sayısına göre veri hızlarını göstermektedir [11].

Çizelge 2.4 : Sayısal televizyon sistemlerinde kullanılan modülasyon teknikleri

Yayın	Modülasyon Tekniği
Karasal Sayısal Televizyon Sistemi (DVB-T)	Kodlu Dikgen Frekans Bölümlemeli Çoğullama (COFDM)
Uydu Sayısal Televizyon Sistemi (DVB-S)	Dikgen Faz Ötelemeli Anahtarlama (QPSK)
Kablolu Sayısal Televizyon Sistemi (DVB-C)	Dikgen Genlik Kiplemesi (QAM)

Çizelge 2.5 : Seviyelere göre MPEG-2 standardı veri hızları

Seviye	Satırdaki Örnek Sayısı (Width)	Çerçeve Satır Sayısı (Height)	Saniyedeki Çerçeve Sayısı (fps)	En Yüksek Veri Hızı (Bit Rate)
Alçak Seviye	352	288	30	4 Mbit/s
Ana Seviye	720	576	30	15 Mbit/s
Yüksek 1440 Seviye	1440	1152	60	80 Mbit/s
Yüksek Seviye	1920	1152	60	100 Mbit/s

2.1.2 Bluetooth

Bluetooth, oluşturulan kablosuz bir kişisel alan ağı (WPAN) içerisinde, sabit veya mobil cihazlar arasında bilgi alışverişini sağlamak amacıyla tasarlanan, kısa mesafeli bir kablosuz iletişim protokolüdür [19].

Aralarında kısa mesafe bulunan cihazların haberleşmesinde kullanılan Bluetooth teknolojisinde, iletim mesafesi genel olarak sistemin gücü ile değişebilmektedir [19]. 3 değişik enerji sınıfı için bluetooth haberleşme mesafeleri Çizelge 2.6'da [19] verilmiştir.

Çizelge 2.6 : Enerji sınıfına göre bluetooth haberleşme mesafeleri.

Sınıf	İzin Verilen En Fazla Güç	Mesafe (Tahmini)
Sınıf 1	100 mW	100 m
Sınıf 2	2.5 mW	10 m
Sınıf 3	1 mW	1 m

Çizelge 2.7 : Bluetooth veri iletişim hızları.

Versiyon	Veri Hızı
1.2	1 Mbit / s
2.0	3 Mbit / s
3.0	50 Mbit / s

Bluetooth teknolojisi, 2.4 – 2.4835 GHz ISM bandında çalışmaktadır [20]. Global olarak bluetooth haberleşmesi 2.45 GHz bandında gerçekleşmektedir[21,22]. Bluetooth 1.2 versiyonunda iletim hızı saniyede 1 Mbit iken bu hız 2.0 versiyonunda saniyede 3 Mbit'e çıkmıştır [23]. 2008 yılı itibari ile Bluetooth 3.0 versiyonunda bu hız saniyede 50 Mbit seviyelerine çıkmıştır [24]. Çizelge 2.7 [23,24] mevcut Bluetooth versiyonları arasındaki veri iletişim hızlarını göstermektedir.

2.1.3 Mobil Teknolojiler

GSM standardı, şu anda mobil cihazlar arasındaki haberleşmede kullanılan dünya üzerindeki en yaygın haberleşme standardıdır [25]. Genel manada, oluşturulan hücresel bir ağ içerisindeki cihazlar hem kendi hücresindeki hem de diğer hücrelerdeki cihazlarla ses ve veri alışverişi yapabilmektedir [26].

2G versiyonlu GSM standardında haberleşme hızı saniyede 14.4 kbit iken [20] bu hız 2.5G versiyonuyla birlikte gelen GPRS sistemi ile saniyede 40 kbit'lere çıkmıştır [27]. 2.75G versiyonunda ise saniyede 554 kbit olan [28] hız, 3G ile kullanılan teknoloji farklılıklarına göre saniyede 14.4Mbit'e kadar [29] çıkabilmektedir. Gelecek nesil olan 4G'de ise veri akış hızının saniyede 100Mbit ile 1Gbit arasında olacağı öngörülmektedir [30].

Wimax, IEEE 802.16 standardını kullanan metropoliten bir ağ içerisinde cihazların birbiriyle haberleşmesi için oluşturulmuş teknolojidir. Pratikte 50km'lik bir etki alanı içerisinde toplamda 70Mbit/s 'lik hıza sahip wimax teknolojisiyle tek bir cihaz için 2-3 Mbit/s 'lik hız söz konusu olmaktadır [31].

2.2 RF Kameranın Sisteme Entegrasyonu

Yapılan çalışmada RF sinyalleri ile haberleşerek görüntü ve ses alıp gönderebilen JMK marka WS-309AS model [32], maliyeti oldukça düşük bir kablosuz kamera sistemi kullanılmıştır.



Şekil 2.2 : RF sinyalleri ile görüntü ve ses alıp gönderebilen kablosuz kamera

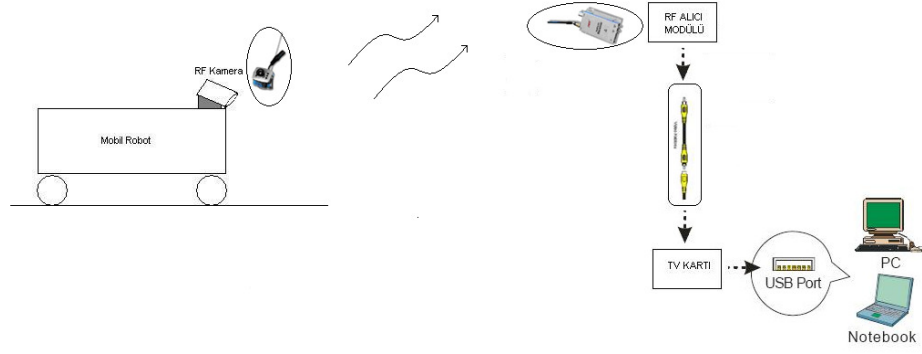
Bu kameradan alınan görüntüler, televizyon kartı aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmakta ve INTEL'in piyasaya sürdüğü OPENCV kütüphanesi aracılığıyla da işlenmektedir.

Kamera alıcı ünitesinin (receiver unit) CINCH bağlantı kablosu (CINCH connector) aracılığıyla ilettiği analog görüntü sinyalini, televizyon kartı sorunsuz bir şekilde dijital ortama aktarabilir ancak CINCH bağlantı kablosu aracılığıyla aktarılan parlaklık ve renk bilgisinin çözünürlüğü oldukça düşüktür.



Şekil 2.3 : Örnek CINCH bağlantı kablosu (2 x Cinch erkek , 2 x Cinch dişi)

Düşük çözünürlükte analog video çıkışı veren bir kamera sistemi, hem maliyet hem de görüntü işleme algoritmasının daha hızlı çalışması açısından mobil uygulamalarda tercih sebebidir.



Şekil 2.4 : Kamera sistemi ve montaj şekli

Mobil robot üzerine sadece kablosuz kamera monte edilmiş, diğer tüm donanım yükü bu sistem sayesinde robot üzerinden uzaklaştırılmıştır. Şekil 2.4’te kamera sisteminin robota montaj şekli görülmektedir.

2.2.1 Kullanılan kameranın özellikleri

Kullanılan kamera, RF sinyalleri ile 50-100 metreye kadar renkli görüntü ve ses aktarabilen CMOS tipi kablosuz bir kameradır. CMOS kameralar CCD tipi kameralara göre daha az enerji harcadığından, pil ya da batarya kullanan cihazlarda (cep telefonu, web cam...vs) daha çok tercih edilmektedir.

Aşağıda, JMK WS-309AS model 1.2GHz, mini, renkli, CMOS kamera sisteminin alıcı ve verici modüllerinin teknik özellikleri listelenmiştir [32].

Alıcı Modül Teknik Özellikleri [32]

- Kablosuz Ses Alıcısı
- Modülasyon Türü : Elektronik Frekans Modülasyonu
- Alıcı Frekansı:1.2GHz/2.4GHz
- Alınan Sinyal Tipi : Görüntü, Ses
- Besleme Gerilimi : DC+12V
- Akım : 500mA

Verici Modül Teknik Özellikleri [32]

- Kamera lensleri : 1/3" 1/4" İmaj Sensör (Image Sensor)
- Sistem : PAL/CCIR, NTSC/EIA
- Etkin Piksel : PAL:628X582, NTSC:510X492
- Resim Alanı: PAL:5.78X4.19mm, NTSC:4.69X3.45mm
- Yatay Tarama:380 TV Satırı
- Tarama Frekansı: PAL/CCIR:50HZ, NTSC/EIA:60HZ
- Elektriksel Çıkış Seviyesi: 50mW
- Çıkış Frekansı:1.2GHz/2.4GHz
- İletilen Sinyal Tipleri: Görüntü , Ses
- Görüntü ve Ses Aktarım Mesafesi:50-100m
- Besleme Gerilimi: DC+9V
- Akım: 300mA
- Güç Tüketimi:≤640mW

2.2.2 Kamera kalibrasyonu

Kameralarda iki çeşit kalibrasyon yapılır. Bunlardan birincisi çekilen görüntünün netliğini ayarlamak için yapılan lens kalibrasyonu, ikincisi ise kamera lensinin türüne bağlı olarak görüntüde oluşacak bozulmaları düzeltmek için görüntü işleme teknikleri ile yapılan yazılımsal kalibrasyondur. Lens yapısından kaynaklanan yazılımsal olarak düzeltilebilen kalibrasyonun nasıl yapıldığına ileriki bölümlerde değinilmiştir.

Monitör üzerinde odak ayarı yaparak görüntü netliğini ayarlamak için bir lens ayar vidası bulunur. Sistemin daha iyi sonuç vermesi için, mobil robota kamera uygun bir açı ile yerleştirildikten sonra mutlaka netlik ayarı yapılmalıdır.

2.3 Görüntünün Bilgisayar Ortamına Aktarılması

Gerçek zamanlı görüntü işleme uygulamaları, bilgisayarla birlikte kamera ve görüntü yakalama kartı gibi donanımlara ihtiyaç duyar. Algılanan görüntü bilgisayar ortamında sayısal bir matrise dönüştürülerek gerekli proselere tabi tutulur. [4]

Bu çalışmada görüntünün bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için diz üstü bilgisayara evrensel seri yolu (USB) girişinden bağlanabilen bir televizyon (TV) kartı kullanılmıştır. Seçilen televizyon kartı MPEG-1/2/4 & H264 formatlarında görüntü kaydedebilmektedir.

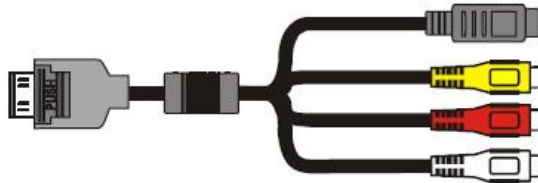
2.3.1 Kullanılan televizyon (TV) kartının özellikleri

Aşağıda, bu çalışma için seçilen AverMedia marka AverTV Hybrid Volar HX model televizyon kartına ait resim [33] görülmektedir.



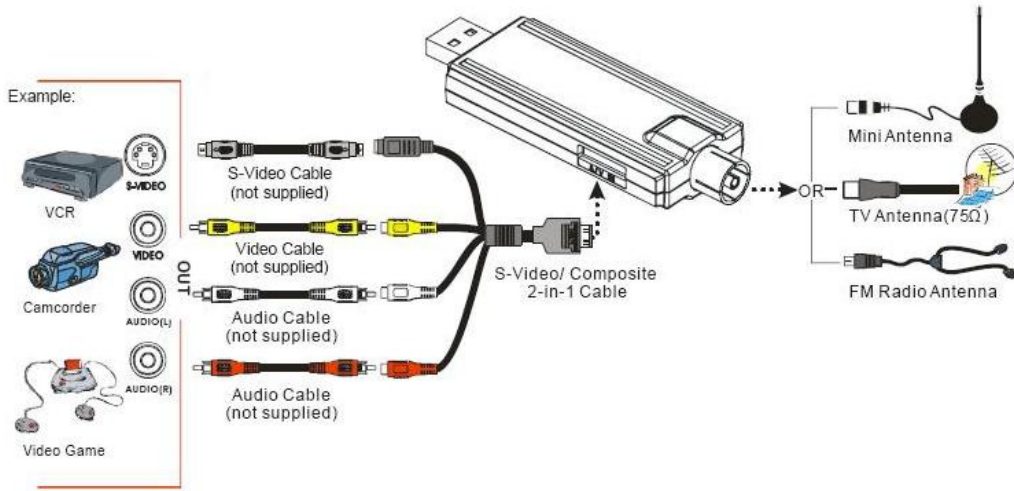
Şekil 2.5 : AverTV Hybrid Volar HX model televizyon kartı

Televizyon kartına ayrıca monte edilebilen Şekil 2.6'daki donanım [33] sayesinde S-Video veya kompozit (RCA) girişler kullanılarak farklı görüntü kaynaklarından görüntü alınabilir [33].



Şekil 2.6 : S-Video ve Kompozit girişler

Şekil 2.7 [33] televizyon yayını, VCR, kamera gibi çeşitli görüntü kaynaklarından görüntü aktarabilmek için genel amaçlı bağlantı şemasını göstermektedir.



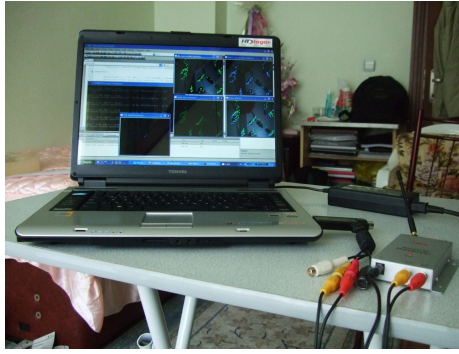
Şekil 2.7 : AverTV Hybrid Volar HX için genel amaçlı bağlantı şeması

Kullanılan televizyon kartının diğer teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir [33].

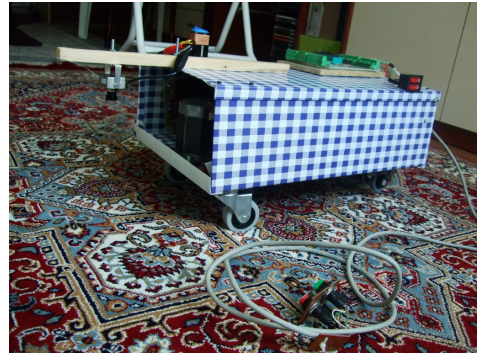
- Alınabilen yayın türleri : Analog TV (PAL/SECAM/NTSC),
Dijital TV(DVB-T) ve FM Radyo
- Alınabilen ses : Stereo ses
- Kompozit (RCA) Giriş Desteği
- Windows XP/Vista(32-64 bit)/MCE işletim sistemleri ile uyumlu
- HDTV (MPEG-4 AVC/H.264 & MPEG-2) desteği
- Çözünürlük : 1080i / 720p (HDTV için)
- MPEG-1/2/4 ve H.264 formatlarında görüntü kaydedebilme
- Düşük güç tüketimi
- Ağırlık : 25g
- Arabirim : USB 2.0
- Teletext (Sadece PAL/SECAM)
- MHEG-5 desteği (İngiliz Dijital Teletext Servisi)

2.4 Görüntü Aktarımı İçin Kullanılan Sistem

Mobil robot üzerinde takılı bulunan kamera ile entegre verici modül 1.2-2.4GHz frekans aralığında video sinyali modüle eder ve gönderir. Alıcı modül tarafından demodüle edilen video sinyali CINC kablo aracılığıyla TV kartına iletilir. TV kartı bu sinyali sayısallaştırır ve bilgisayar tarafından işlenmeye hazır hale getirir. Bilgisayarın bu verileri işleyebilmesi için bir yazılım geliştirme ortamına ihtiyaç vardır. Bu tezde yazılım geliştirme ortamı olarak Microsoft Visual Studio 2005 kullanılmıştır.



(a)

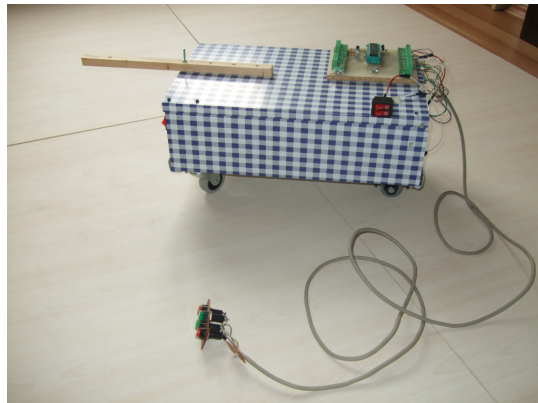


(b)

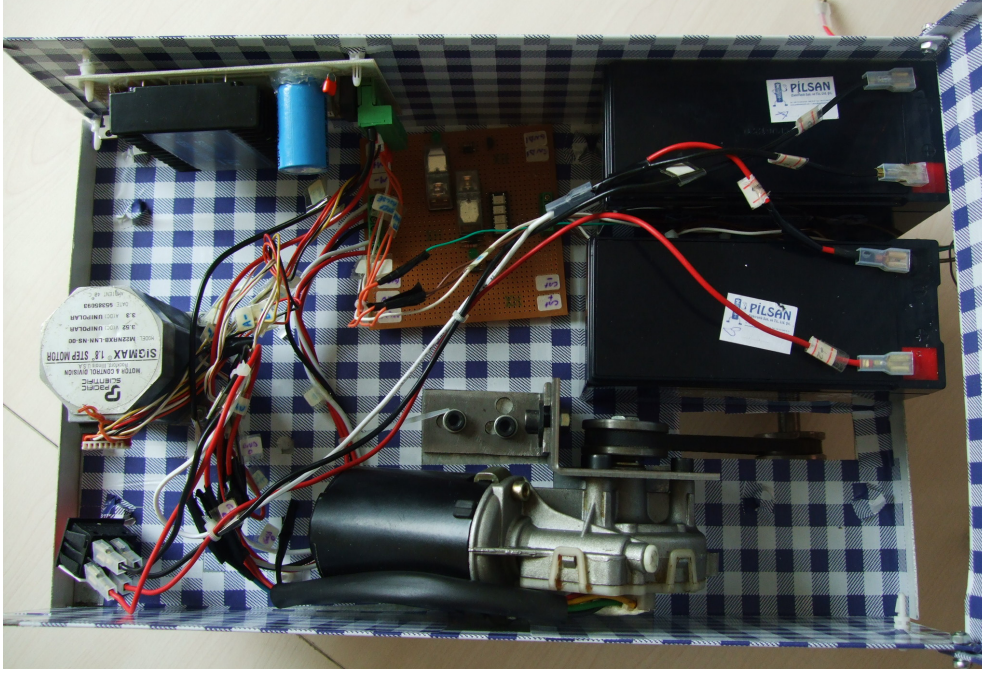
Şekil 2.8 : Görüntü aktarımı için kullanılan sistem : (a) RF Alıcı Ünitesi, TV kartı ve diz üstü bilgisayar (b) Üzerinde RF Kamera bulunan mobil robot

2.4.1 Kullanılan Mobil Robot Donanımı 1

Deneyler esnasında sıklıkla kullanılan mobil robot sistemi Şekil 2.9’da görüldüğü gibi kumandalı ve otonom olmayan bir sistemdir. PIC mikro denetleyicisi sayesinde ileri ve geri yönde hareket ile sağa ve sola dönüş manevralarını kumandası aracılığıyla yapabilen bu robot, ileri-geri hareket için bir DC motor, yön hareketi için ise bir step motor kullanmaktadır.



Şekil 2.9 : Deneylerde kullanılan robot sistemi 1

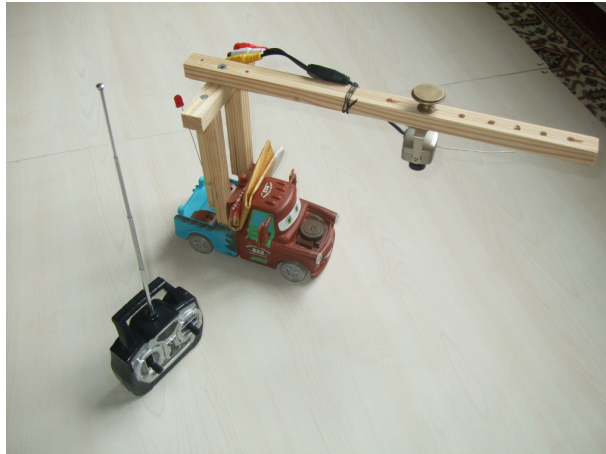


Şekil 2.10 : 1. Robot sisteminin donanımı

Şekil 2.10’da, 1. robot sisteminin donanımı görülmektedir. Kullanılan DC motor, redüktör ve kayışlı bir sistem aracılığıyla hareketi tekerleklere iletmektedir ve sürücüsü tek kademeli hızda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

2.4.2 Kullanılan Mobil Robot Donanımı 2

Kullanılan ikinci robot sistemi ise Şekil 2.11’de görüldüğü gibi uzaktan kumandalı ve otonom olmayan bir sistemdir. Bu alternatif sistem, deneyleri farklı bir hızda tekrarlayabilmek için tercih edilmiştir. Ayrıca birinci robot sisteminde kullanılan DC motor, görüntünün kalitesini olumsuz yönde etkilediğinden, daha küçük DC motora sahip olan bu araç tercih sebebidir.



Şekil 2.11 : Deneylerde kullanılan robot sistemi 2

2.5 Görüntü Aktarımı İçin Kullanılan Sistemin Akış Diyagramı

Gerçek zamanlı olarak gelen görüntüden ardarda iki adet çerçeve alınır. İlk çerçevenin öznitelikleri belirlenir. Daha sonra ilk çerçevede bulunan özniteliklerin, ikinci çerçevede nereye kaydığı, Lucas Kanade optik akış algoritması ile tespit edilir. Optik akışı tespit edilen özniteliklerin x ve y ekseninde ortalama yer değiştirme miktarı hesaplanır ve bir önceki değişim miktarına ek olarak, hesaplanan değer yeni bir pencerede çizdirilir.



Şekil 2.12 : Yer belirleme için kullanılan görsel odometri algoritması

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bölüm 2.5'te akış şeması verilen görsel odometri algoritmasının performansını test edebilmek için sistemde bazı kısıtlar sağlanmalıdır. Bu tez kapsamında tamamen görüntü işleme tabanlı bir görsel odometri sistemi oluşturmak amaçlandığından kameradan gelen video bilgisini destekleyecek herhangi bir algılayıcı kullanılmamıştır. Dolayısıyla sistemde kameranın pozisyonunu tespit edebilecek bir sensör de yoktur ve kurulacak sistemde mutlaka kameranın robot üzerine sabitlenmesi gerekmektedir. Diğer taraftan Şekil 2.12'de yer verilen algoritmaya göre kameranın görüntü alanı içerisinde yer alan hareketli nesneleri algılayabilecek bir alt program da odometri sistemine dahil edilmemiştir. Bu yüzden hareketli nesnelerin testler sırasında görüntü alanı içerisine girmesi engellenmelidir.

Oluşturulan görsel odometri sisteminde kameradan alınan görüntü çerçeveleri ard arda bilgisayar ortamına aktarılarak çerçeve öznitelikleri OPENCV kütüphanesinin hazır fonsiyonları yardımıyla tespit edilmektedir. Robotun içinde bulunduğu ortamın ışık koşulları ve hareket yüzeyi, özniteliklerin tespit edilip doğru eşleştirilebilmesi için önemli bir rol oynamaktadır. Bu yüzden birbirinden farklı test yüzeyleri hazırlanarak oluşturulan görsel odometri sisteminin performansı test edilmeye çalışılmıştır.

Test yüzeyleri olarak halı, muşamba, jelatin, parke ve tahta gibi yansıtıcı etkisi bulunan ve bulunmayan ya da ayırt edici nokta sayısı fazla olan ya da olmayan çeşitli yüzeyler tercih edilmiştir. Şekil 3.1'de bu yüzeyler gösterilmektedir. Buna göre halı yüzey (desenli) yansıtıcı etkisi en az olup ayırt edici nokta sayısı en fazla olan yüzey iken, seçilen jeletin yüzey, yansıtıcı etkisi en fazla olan test yüzeyi olarak karşımıza çıkmaktadır. Seçilen tahta yüzey diğer yüzeyler arasında ayırt edici nokta sayısı en az olan yüzeydir. Dolayısıyla dikdörtgen ve dairesel yörünge testlerinde en kötü sonucu elde etmemizi sağlamıştır. Parke yüzey ise tahta yüzeye göre daha çok ayırt edici özellik barındıran ancak birbirine paralel tahta desenlerinin yer belirleme testi için yeterli oranda öznitelik taşımadığı uygulanan yörünge testlerinden görülmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)



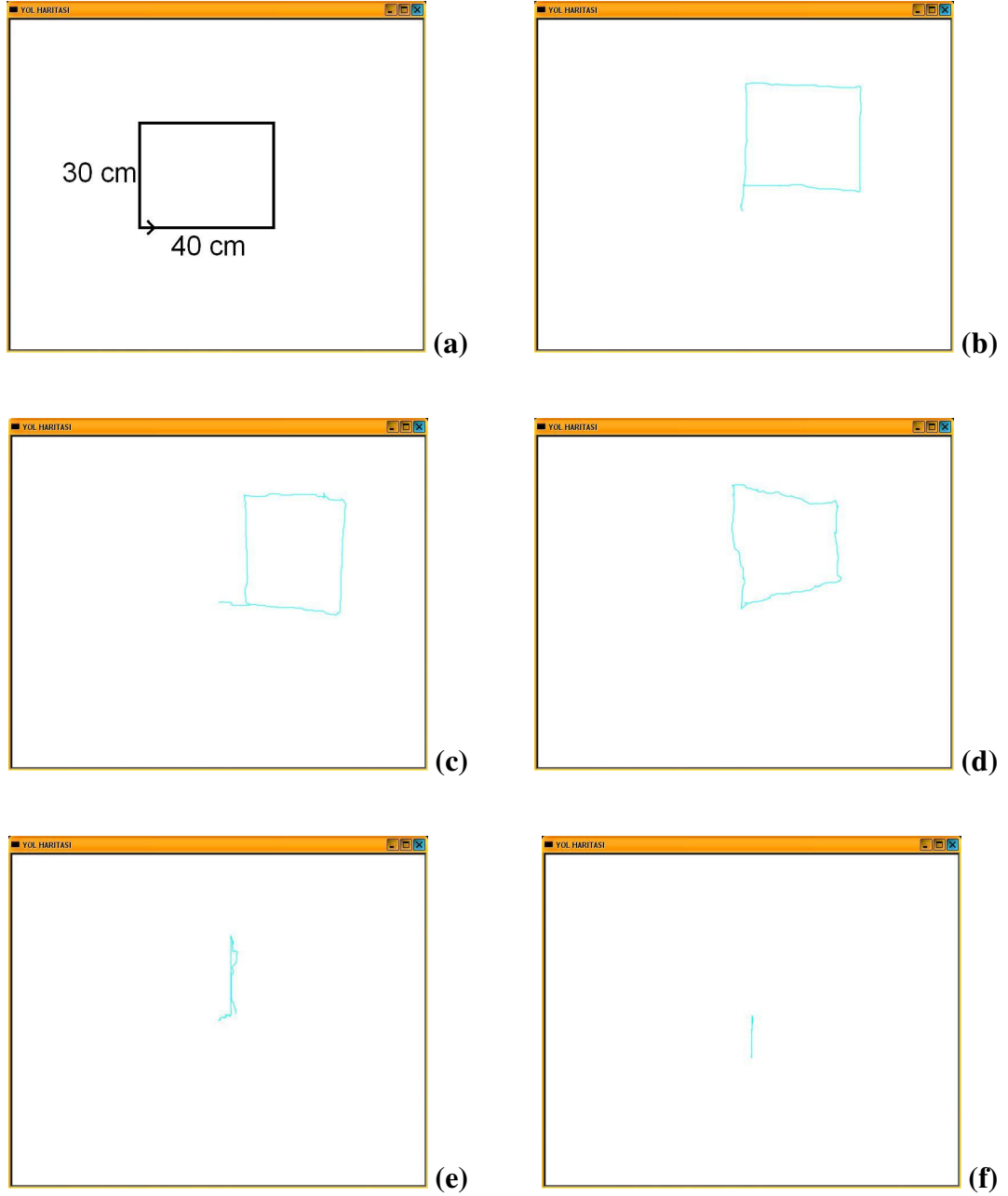
(e)

Şekil 3.1 : Test Yüzeyleri a) Halı, b) Muşamba, c) Jelatin, d) Parke, e) Tahta.

Oluşturulan görsel odometri sisteminin performansı yukarıdaki yüzeyler üzerinde iki farklı yörünge izlenerek test edilmiştir. Odometri sisteminin başladığı noktaya geri gelebilmesi için yörüngeler dairesel ve dikdörtgen seçilmiştir.

3.1 Dikdörtgen Yörüngede Yer Belirleme Testi

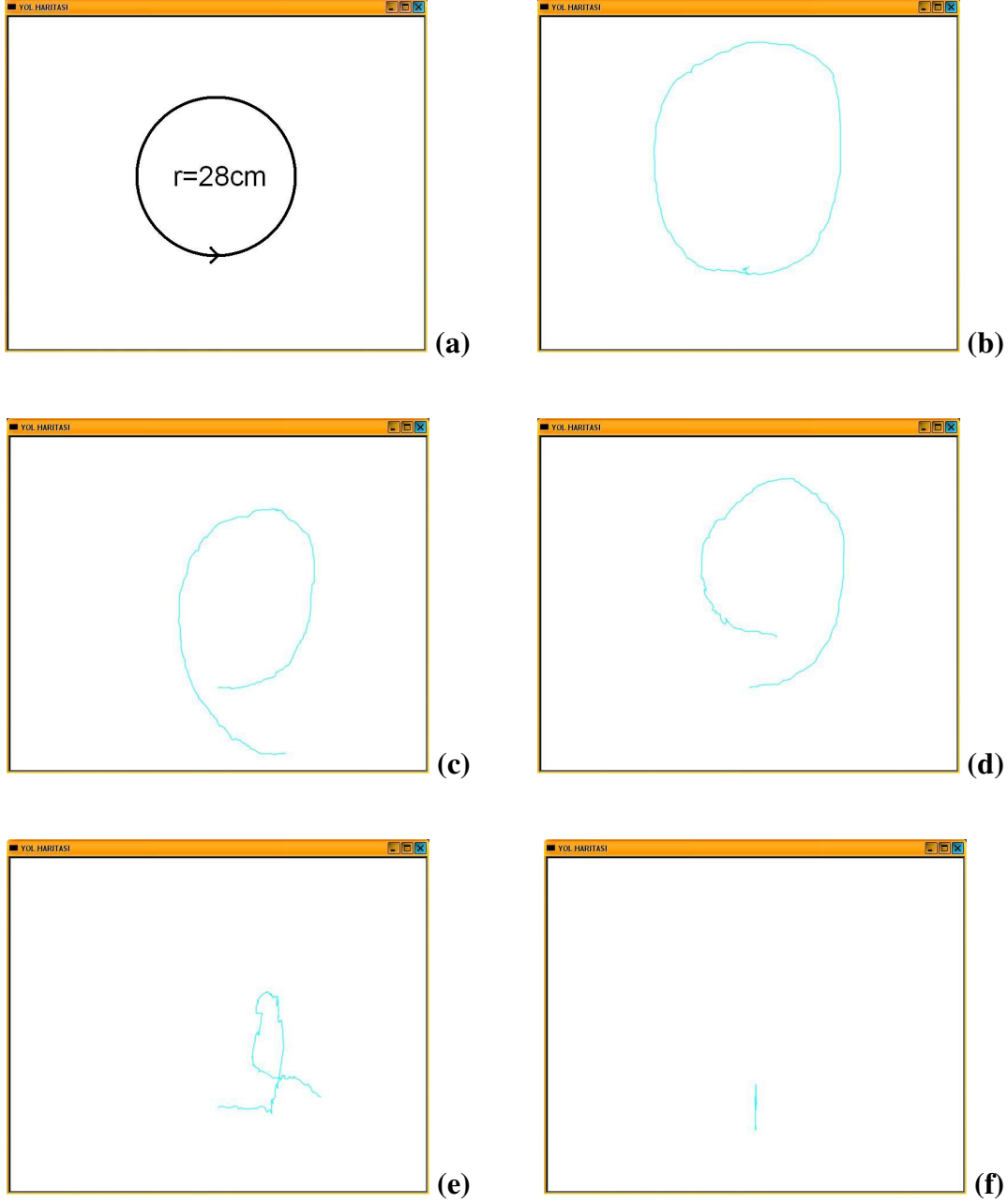
Bu testte kablosuz kamera, 30cm boyunda ve 40cm eninde dikdörtgen bir yörünge boyunca elle hareket ettirilerek dikdörtgen yörüngeyi ne şekilde izleyebildiği farklı yüzeyler üzerinde test edilmiştir.



Şekil 3.2 : Dikdörtgen bir yörüngede farklı yüzeyler için elde edilen test sonuçları: a) Test edilen (30 x 40 cm) dikdörtgen yörünge, b) Halı yüzey üzerinde test sonucu, c) Muşamba yüzey üzerinde test sonucu, d) Jelatin yüzey üzerinde test sonucu, e) Parke yüzey üzerinde test sonucu, f) Tahta yüzey üzerinde test sonucu.

3.2 Dairesel Yörüngede Yer Belirleme Testi

Bu testte kablosuz kamera, 28 cm yarıçaplı dairesel bir yörünge boyunca elle hareket ettirilerek dairesel yörüngeyi ne şekilde izleyebildiği farklı yüzeyler üzerinde test edilmiştir.



Şekil 3.3 : Dairesel bir yörüngede farklı yüzeyler için elde edilen test sonuçları: a) Test edilen dairesel ($r=28\text{cm}$) yörünge, b) Halı yüzey üzerinde test sonucu, c) Muşamba yüzey üzerinde test sonucu, d) Jelatin yüzey üzerinde test sonucu, e) Parke yüzey üzerinde test sonucu, f) Tahta yüzey üzerinde test sonucu.

3.3 Uygulamada Karşılaşılan Zorluklar

Bu bölümde, kameranın kablosuz olarak seçilmesinden kaynaklanan zorluklar ile optik akışın hesaplanması sırasında karşılaşılan zorluklar ele alınmıştır.

3.3.1 Kablosuz kameradan alınan görüntünün kalitesi

Görüntü kalitesi, optik akışın doğru olarak hesaplanabilmesi için önemli faktörlerden biridir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de, aynı şartlar altında, kablosuz ve kablolu kameralardan alınan orijinal görüntüler ile birlikte OPENCV kütüphanesinin fonksiyonları yardımıyla belirlenen çerçeve çözünürlükleri yer almaktadır.



Şekil 3.4 : JMK WS-309AS kablosuz kamera görüntüsü (720 x 576)



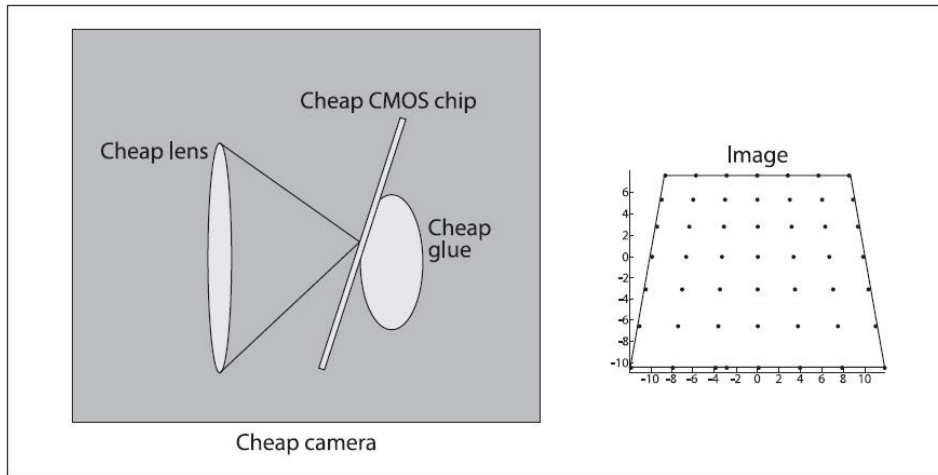
Şekil 3.5 : Microsoft LifeCam VX-1000 kablolu kamera görüntüsü (320x240)

Şekil 3.4'te JMK WS-309AS model kablosuz kameradan alınan 720x576 çözünürlükte görüntü ve Şekil 3.5'te Microsoft LifeCam VX-1000 model kablolu kameradan alınan 320x240 çözünürlükte görüntü yer almaktadır. Kablosuz kameranın çözünürlüğü daha yüksek olmasına karşın, görüntü kalitesi kablolu kameraya göre daha kötüdür. Dolayısıyla yer belirleme testi sırasında hatanın artmasına sebep olabilir.

Her iki kamera da RGB standartlarına uygun renkli görüntü sağlayabilmektedir. Buna göre kameralardan alınan çerçevelerin her bir pixeli 24 bit'tir. Kablosuz kameradan elde edilen her çerçeve yaklaşık $720 \times 576 \times 24 \text{ bit} = 1215 \text{ KB}$, kablolu kameradan elde edilen her çerçeve ise yaklaşık $320 \times 240 \times 24 \text{ bit} = 225 \text{ KB}$ hafızada yer kaplamaktadır. Saniyede 30 çerçeve gönderebilen bu kameralardan gelen bilgiyi renkli olarak işlemek, bilgisayarın performansını zorlamaktadır. Bu yüzden görüntü işleme yazılımında, RGB formatında alınan görüntü bilgisi 8 bit'lik gri-ton'a (İng.Gray-Scale) çevrilmiştir. Buna göre kablosuz kameradan alınan her bir çerçeve yaklaşık 1215KB'tan 405KB'a, kablolu kameradan alınan her bir çerçeve ise 225KB'tan 77KB'a indirilmiştir.

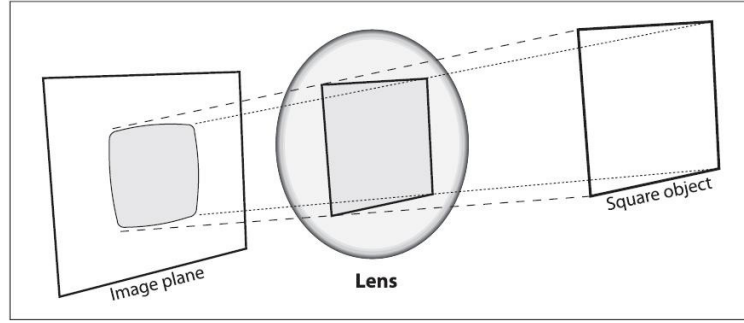
3.3.2 Kamera distorsiyonu

Kameralarda iki çeşit lens distorsiyonu vardır. Birincisi üretim hatalarından kaynaklanan teğetsel(tangential) distorsiyon, ikincisi ise kullanılan lensin yapısından kaynaklanan radyal (radial) distorsiyondur [34]. Teğetsel (tangential) distorsiyon, kameranın üretimi esnasında lensin resim düzlemine paralel olarak yerleştirilememesinden kaynaklanan distorsiyondur [34].



Şekil 3.6 : Teğetsel distorsiyonun oluşumu

Radyal distorsiyon[34], lensin küresel yapısından kaynaklanan ve lensin optik merkezinden kenarlarına doğru gidildikçe artan distorsiyondur.



Şekil 3.7 : Radyal distorsiyon

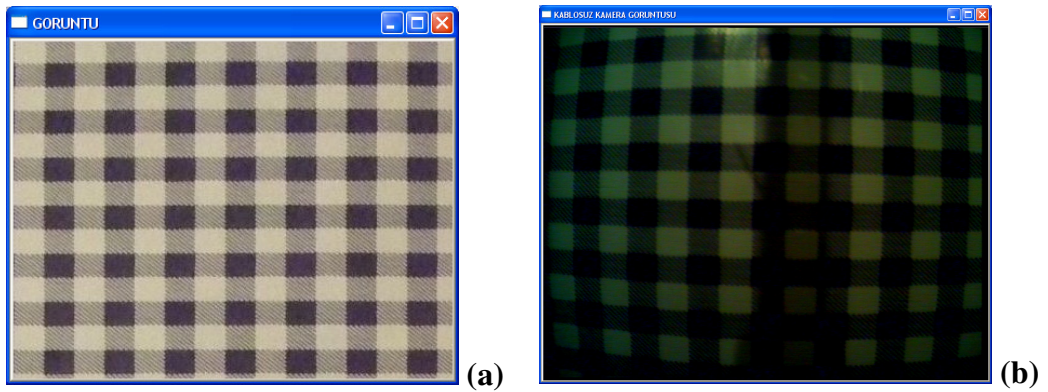
Radyal distorsiyon optik merkezde ($r = 0$) çok küçüktür ve bu noktada Taylor serisinin ilk bir kaç terimi ile modellenebilir. Buna göre bir noktanın lens üzerindeki radyal lokasyonu aşağıdaki denklemlerle ifade edilir [34].

$$x_{\text{düzeltilmiş}} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (3.1)$$

$$y_{\text{düzeltilmiş}} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (3.2)$$

Bu denklemlerde yer alan k_1 , k_2 ve k_3 ilk üç radyal distorsiyon terimi olmak üzere, x ve y distorsiyona uğramış noktanın lens üzerindeki orijinal yerini, $x_{\text{düzeltilmiş}}$ ve $y_{\text{düzeltilmiş}}$ ise düzeltme sonucunda elde edilen yeni yeri temsil etmektedir[34].

Şekil 3.8’de görüntülenmek istenen kareli yüzey ve kullanılan kablosuz kamerada oluşan radyal distorsiyon etkisi görülmektedir.



Şekil 3.8 : Kullanılan kablosuz kamerada oluşan radyal distorsiyon etkisi : a) Görüntülenmek istenen kareli yüzey, b) Radyal distorsiyon etkisi

3.3.3 Görüntü kalitesinin sürüş hızından etkilenmesi

Kablosuz kamera ile yapılan testler sırasında, görüntü kalitesinin iki şekilde değiştiği saptanmıştır. Kameranın yer aldığı mobil robot sisteminin hızı ve kameranın yer aldığı mobil robot sisteminde bulunan DC motorun rotorunun dönmeye başlaması, kablosuz olarak aktarılan görüntünün gürültüye maruz kalmasına sebep olmaktadır.

30 fps ile 720 x 576 çözünürlüğünde çerçeve yollayabilen kablosuz kamera, elle belirli bir yörüngede farklı hızlarda hareket ettirilerek, gürültü etkisi görüntülenmeye çalışılmıştır. Şekil 3.9’da da görüldüğü gibi, görüntü netliği hız artışına bağlı olarak azalmaktadır.



Şekil 3.9 : Kablosuz kameradan (JMK WS-309AS) hareketsizken ve farklı hızlarda hareket halinde iken alınan orijinal görüntü dizileri.

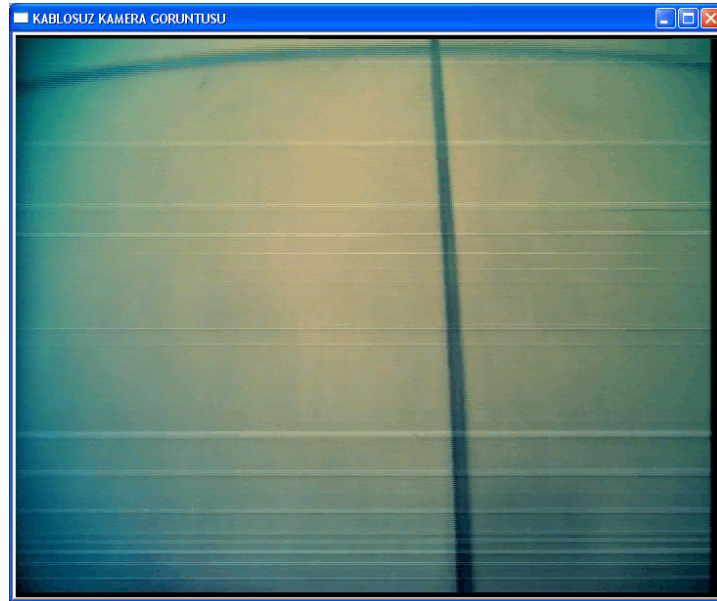
3.3.4 Görüntü kalitesinin elektromanyetik girişimden etkilenmesi

Deneyler sırasında kullanılan mobil robotun ileri ve geri yönde hareket edebilmesini sağlayan DC motor (12V akü ile çalışan silecek motoru), kablosuz kameranın görüntü kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Şekil 3.10’da robot durağan haldeyken alınan orijinal görüntü, Şekil 3.11’de ise robotun hareket haline geçmesiyle birlikte görüntü üzerinde rasgele oluşan beyaz çizgi etkisi görülmektedir.

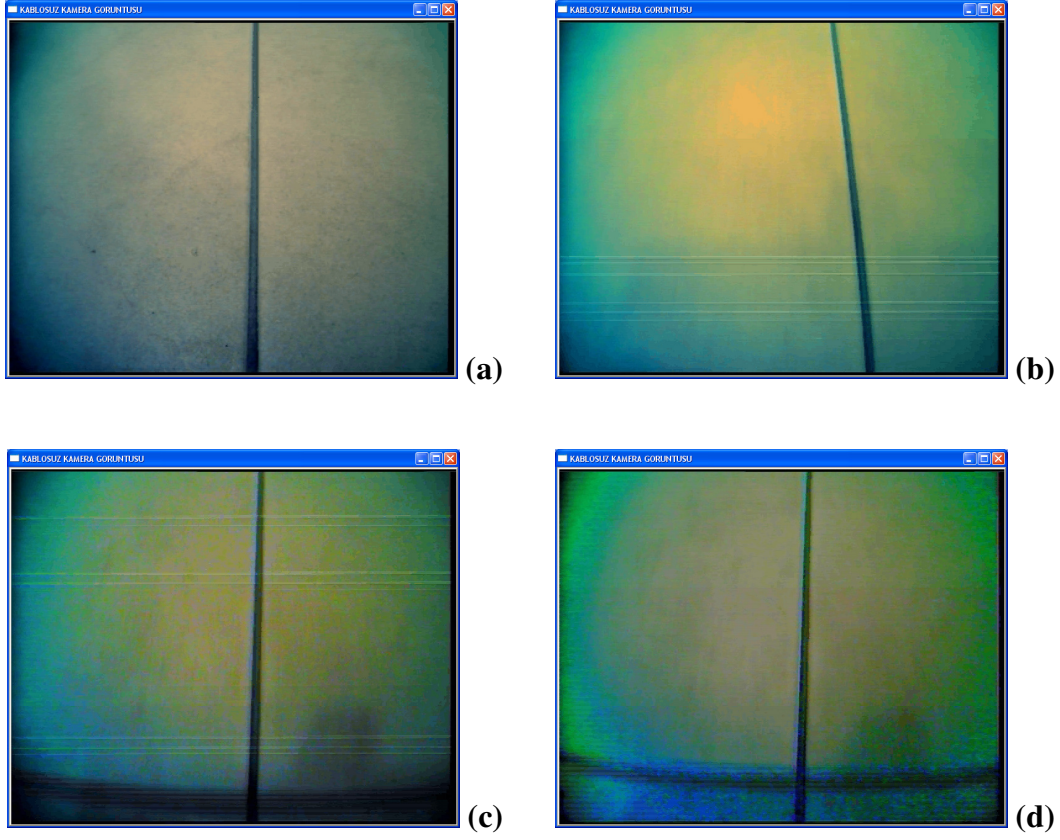


Şekil 3.10 : Robot hareketsizken kablosuz kameradan alınan orijinal görüntü

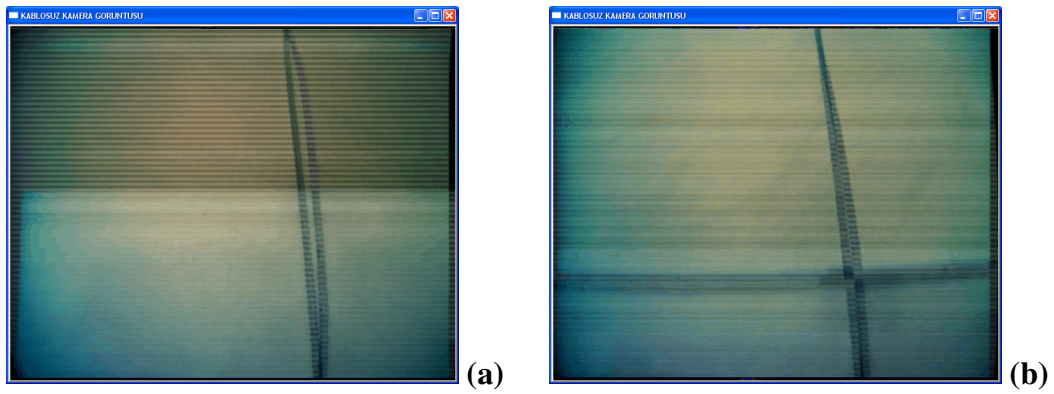


Şekil 3.11 : Robot hareket halindeyken meydana gelen çizgi gürültüsü

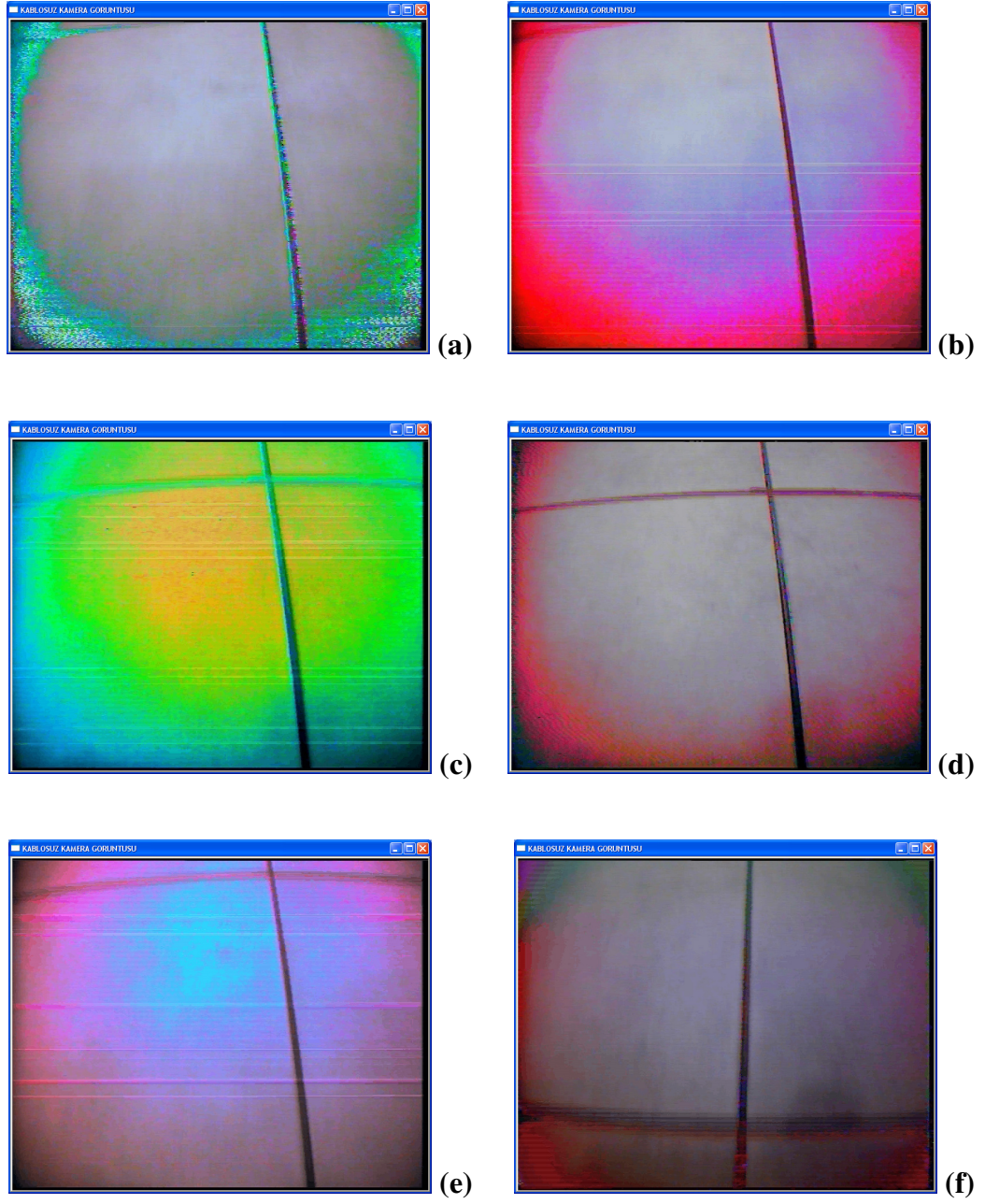
Kalebodur zemin üzerinde yapılan testler süresince karşılaşılan diğer gürültü çeşitleri Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.12 : Gürültü etkisi 1: a) Robot hareketsizken alınan görüntü b), c), d) Çeşitli elektromanyetik girişim etkileri



Şekil 3.13 : Gürültü etkisi 2: a) ve b) Tek olan yüzey çizgisinin, çift görünmesi.

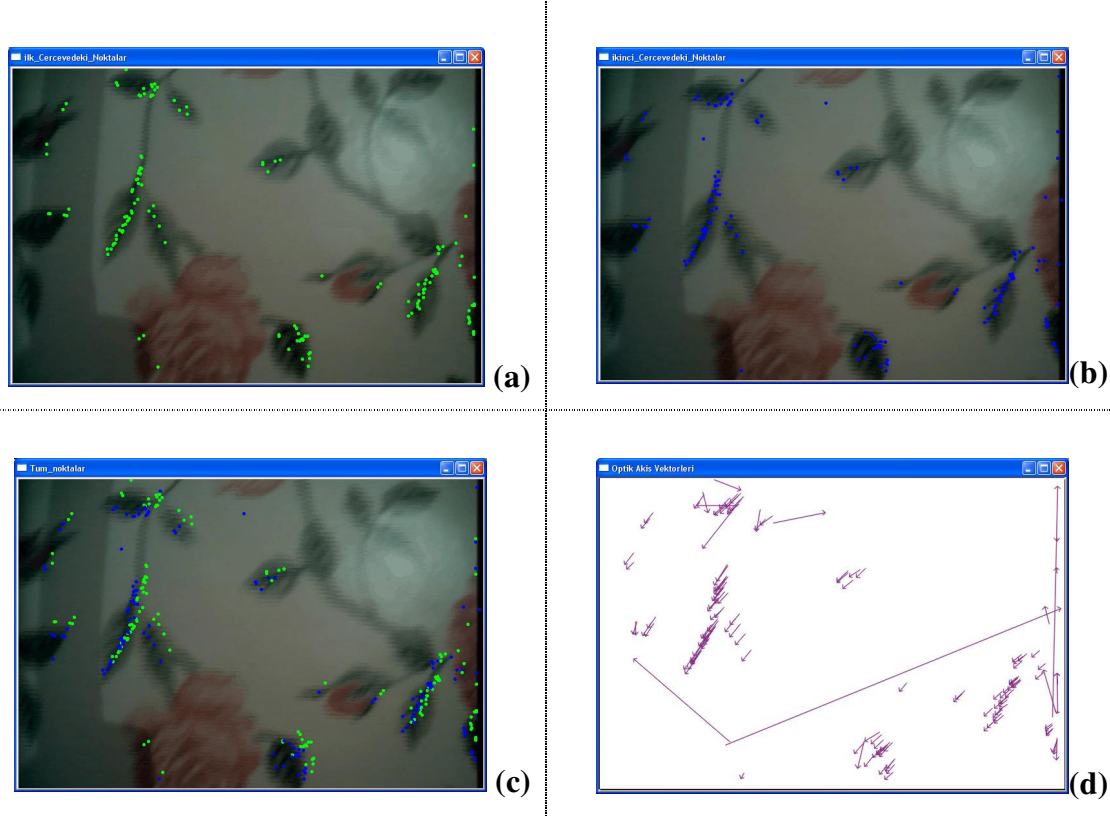


Şekil 3.14 : Gürültü etkisi 3 : a), b), c), d), e) ve f) Aşırı bozulmuş görüntü dizileri

Bütün bu gürültü etkileri, fiziksel ve yazılımsal olarak azaltılabilir. DC motorun yarattığı elektromanyetik girişim etkisini azaltmak için motorun bulunduğu bölge ve kameranın robota monte edildiği bölge alüminyum folyo ile kaplanarak fiziksel bir izolasyon sağlanabilir. Yazılımsal olarak ise uygun filtreler kullanılarak bu gürültü etkisi azaltılabilir. Böylece optik akışın daha doğru hesaplanması ve görsel odometri algoritmasının performansının artması sağlanabilir.

3.3.5 Yakalanan görüntü üzerindeki özniteliklerin yanlış eşleştirilmesi

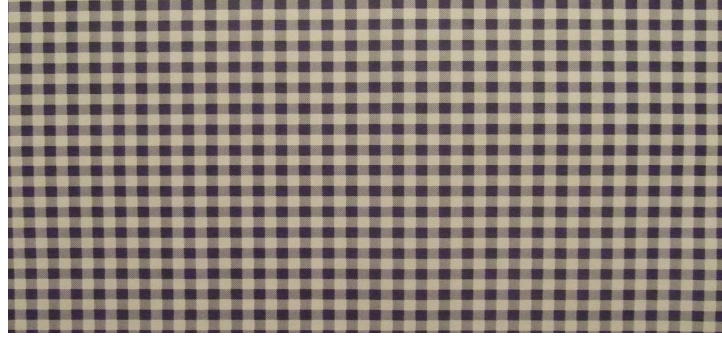
Şekil 3.15 d’de ardarda alınan iki çerçeve arasında Lucas Kanade optik akış algoritması ile tespit edilen vektörler görülmektedir. Çoğunlukla bu optik akış vektörleri kararlı bir seyir izlerken, bazı özniteliklerin yanlış eşleştirilmesi sonucu kararsız vektörler ortaya çıkmaktadır. Optik akışın doğru hesaplanabilmesi için yanlış eşleştirilen özniteliklerin yazılımsal olarak elenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.15 : Özniteliklerin belirlenmesi ve eşleştirilmesi : a) İlk çerçevede tespit edilen öznitelikler, b) İlk çerçevede tespit edilen özniteliklerin ikinci çerçevedeki konumları, c) Her iki çerçevede de yer alan özniteliklerin birlikte gösterilmesi, d) Optik akış vektörleri.

3.3.6 Karşılaşılan diğer zorluklar

Özniteliklerin yanlış eşleştirilmesi yazılımsal olarak elenebilse de bunun zor olduğu durumlar da vardır. Bunlardan en önemlisi ikiz yanılsama (İng. aliasing) olayıdır. Şekil 3.16’teki gibi bir yüzeyde birbirine benzeyen noktalar çok fazla olduğundan optik akış hesaplanmak istendiğinde, hareket eden bir robot duruyor, duran bir robot da hareket ediyor gibi algılanabilir.



Şekil 3.16 : İkiz yanılması olayının görülebileceği örnek yüzey

Gerçek zamanlı uygulamalarda, kameradan gelen görüntünün ne kadar sürede işlendiği önemlidir. Görüntü işleme süresinin uzun olması, daha az çerçeve yakalanmasına neden olur. Bu da, üzerinde çalışılan uygulamanın doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebileceğinden görüntü işleme süresinin mümkün olduğunca kısa tutulması sağlanmalıdır.

3.4 Genel Değerlendirme

Dairesel ve dikdörtgen yörünge testlerinden de görüldüğü üzere oluşturulan görsel odometri sistemi farklı yüzeyler üzerinde farklı sonuçlar üretebilmektedir. Tahta yüzey üzerinde yeterli olmayan sonuçlar elde edilmesi, kurulan odometri sisteminin başarısızlığını göstermez. Kullanılan donanım ile kurulan sistem, tahta ve parke yüzeyler üzerinde yer belirleme uygulaması çalıştırmak için uygun değildir. Aşağıda yapılan testler sonucunda elde edilen veriler kısaca yorumlanmıştır.

- Halı yüzeyde alınan test sonuçlarının diğer yüzeylerde alınan test sonuçlarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, halı yüzeyin diğer yüzeylere göre yansıtıcı etkisinin oldukça az olması ve yüzey üzerinde bulunan ayırt edici nokta sayısının da oldukça fazla olmasıdır. Bütün bunlar özniteliklerin diğerlerine oranla daha doğru şekilde eşleştirilebilmesini sağlayarak odometri sisteminin performansını arttırmıştır.
- Muşamba ve jelatin yüzeylerde oluşan yansıtıcı etki nedeniyle test yörüngesinden sapma meydana geldiği görülmüştür.
- Tahta ve parke yüzeylerde birbirine benzeyen noktaların çok olması ikiz yanılması etkisinin görülmesine neden olmuştur. Bunun sonucunda, test edilen yörünge doğru olarak belirlenememiştir.

- Parke yüzey için dikdörtgen ya da dairesel yörünge yerine testere dişi şeklinde ya da yüzeyin paralellerini kesebilecek bir üçgen yörünge seçilmesi daha başarılı sonuçlar elde etmemizi sağlayabilir, ancak kurulan sistem ve oluşturulan odometri algoritması tahta ve parke yüzey için uygun değildir.

Bu tez kapsamında oluşturulan görsel odometri sistemi aşağıda belirtilen şartlar sağlandığında daha doğru sonuçlar ortaya çıkardığı tespit edilmiştir:

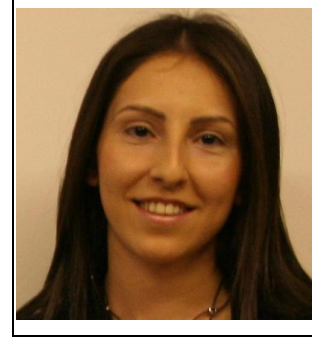
- Kameranın gönderebileceği çerçeve hızına bağlı olarak mobil platformun makul bir hızda hareket ettirilmesi
- Test yüzeyinin kameranın görüş açısını değiştirecek şekilde eğimli ya da engebeli olmaması
- Kameranın görüş açıcısı içerisine etrafta bulunan cisimlerin gölgelerinin girmesinin engellenmesi
- Ortamdaki ışık miktarının yeterli olması

KAYNAKLAR

- [1] **Stallings, W.**, 2002: Wireless Communications and Networks, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [2] **Bahl, P. and Padmanabhan, V.N.**, 2000: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, Infocom 2000, pp.1-10, Telaviv, Israel.
- [3] **Rappaport, T.S.**, 2002: Wireless Communications Principles and Practice, Pearson Education, Upper Saddle River.
- [4] **Köker, R.**, 2002: Üç eklemli bir robot kolunun görmeye dayalı olarak model tabanlı zeki kontrolü, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [5] **Çakır, B.**, 2008: Tekerlekli otonom robotlar için görüntü işleme tabanlı bir haritalama algoritması geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Boğaziçi Üniversitesi Robot Sitesi - Optik Akış, <http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/gorusimge/3_9_Optik_Ak_i_c_s.html>, alındığı tarih 15.03.2009.
- [7] **Lucas B. D. and Kanade T.**, 1981: An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, *Proceedings of Imaging Understanding Workshop*, pp.121-130, Washington, USA.
- [8] **Özüntürk, E.**, 2007: Optik akış ile hareket tespiti, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **DiVerdi, S. and Hollerer, T.**, 2007: GroundCam: A Tracking Modality for Mobile Mixed Reality, *IEEE Virtual Reality Conference 2007*, pp.75–82, Charlotte, North Carolina, USA.
- [10] WikiAnswers - How does an optical mouse work, <http://wiki.answers.com/Q/How_does_an_optical_mouse_work>, alındığı tarih 11.03.2009.
- [11] **Morgül, A.**, 2002: Dijital Televizyon : Uydu ve Karasal Yayın Sistemleri, Anten Dünyası Dergisi, İstanbul.
- [12] Yeni nesil iletişim 3G - LOG, <<http://www.log.com.tr/yeni-nesil-iletisim-3g/>>, alındığı tarih 15.03.2009.
- [13] IEEE 802 - Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802/>, alındığı tarih 15.03.2009.
- [14] IEEE - the world's leading professional association for the advancement of technology, <<http://www.ieee.org/>>, alındığı tarih 15.03.2009.
- [15] **Green, J. H.**, 2000: The Irwin Handbook of Telecommunications, 5.baskı, s.310, McGraw-Hill, ABD.

- [16] Radio frequency - Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency>, alındığı tarih 15.03.2009.
- [17] **Carr, J. J.**, 2001: Secrets of RF Circuit Design, 3.baskı, s.2, McGraw-Hill, ABD.
- [18] **Arnold, A., Frater, R.F. and Pickering, M.**, 2007: Digital Television: technology and standarts, s.4, John Wiley & Sons, ABD.
- [19] Bluetooth - Wikipedia, the free encyclopedia, <<http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>>, alındığı tarih 15.03.2009.
- [20] **Minoli, D.**, 2003: Telecommunications Technology Handbook, 2.baskı, s.283, Artech House, ABD.
- [21] **Vendelin, G. D., Pavo, A. M. and Rohde, U. L.**, 1990: Microwave Circuit Design: Using Linear and Nonlinear Techniques, s.15, John Wiley & Sons, ABD.
- [22] **Yang, G-Z.**, 2006: Body Sensor Networks, s.157, Springer-Verlag, İngiltere.
- [23] **Sohraby, K., Minoli, D. and Znati, T.**, 2007: Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications, s.112, John Wiley & Sons, ABD.
- [24] **Plunkett, J. W.**, 2008: Plunkett's Wireless, Wi-Fi, RFID and Cellular Industry Almanac 2008, Plunkett Research, Ltd., Houston, ABD.
- [25] **Zvonar, Z., Yung, P. and Kammerlander, K.**, 2002: GSM: Evolution Towards 3rd Generation Systems, s.vii, Kluwer Academic Publishers, Hollanda.
- [26] **Hillebrand, F.**, 2002: GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication, s.38, John Wiley & Sons, İngiltere.
- [27] **Dixit, S. and Wu, T.**, 2004: Content Networking in the Mobile Internet, s.31, John Wiley & Sons, ABD.
- [28] **Stuckmann, P.**, 2003: The GSM Evolution: Mobile Packet Data Services, s.97, John Wiley & Sons, İngiltere.
- [29] **Tapia, P., Liu, J., Karimli, Y. and Feuerstein, M. J.**, 2009: HSPA Performance and Evolution: A Practical Perspective, s.9, John Wiley & Sons, İngiltere.
- [30] **Berndt, H. H.**, 2008: Towards 4G Technologies: Services with Initiative, s.18, John Wiley & Sons, İngiltere.
- [31] WiMAX – Vikipedi, < <http://tr.wikipedia.org/wiki/Wimax>>, alındığı tarih 15.03.2009.
- [32] Welcome To Shenzhen Jiameikang science Co., Ltd., <<http://www.jmk.com.cn>>, alındığı tarih 11.03.2009.
- [33] AVerMedia MPD Global - TV tuner, HDTV tuner card, PCTV,PCTV tuners, TVtuner, TVBox, TV box, Vista TV Tuner, Dual Tuner, HDTV, <<http://www.avermedia.com/avertv/>>, alındığı tarih 11.03.2009.
- [34] **Bradski, G. and Kaehler, A.**, 2008: Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, s.375-377, O'Reilly, ABD.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Ezgi ERİŞTİ
Doğum Yeri ve Tarihi : Şarkışla / 09.01.1983
Adres : Çekmeköy / İSTANBUL
Lisans Üniversite : Marmara Üniversitesi
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü

Yayın Listesi :

- **Eristi E.**, Erdal H., 2007: Bağlama Çalan Bir Mekanizmanın Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. *4.Otomasyon Sempozyumu*, 23-25 Mayıs 2007, Samsun, Türkiye.