



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖRME ÖZÜRLÜLER İÇİN  
GPS-UZAYSAL VERİTABANI-KAMERA DESTEKLİ DOĞRULTU  
BELİRLEME SİSTEMİ

Celalettin TIĞLI

DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2007



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖRME ÖZÜRLÜLER İÇİN  
GPS-UZAYSAL VERİTABANI-KAMERA DESTEKLİ DOĞRULTU  
BELİRLEME SİSTEMİ

Celalettin TIĞLI

Yard. Doç. Dr. Halil YEŞİLÇİMEN  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2007

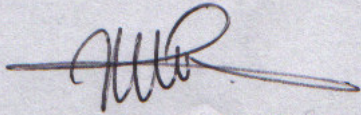
T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖRME ÖZÜRLÜLER İÇİN  
GPS-UZAYSAL VERİTABANI-KAMERA DESTEKLİ DOĞRULTU  
BELİRLEME SİSTEMİ

Celalettin TIĞLI

DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 23 / 11 / 2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy  
çokluğu ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Halil YEŞİLÇİMEN  
(Danışman)

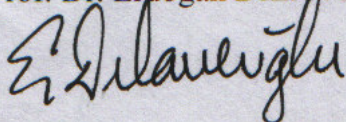
Prof. Dr. Ramazan YAMAN  
*R. Yaman*

Yrd. Doç. Dr. Osman H. KOÇAL



*H. Köz*  
Prof. Dr. Hüseyin EKİZ

Prof. Dr. Erdoğan DİLAVEROĞLU



## ÖZET

Bu tezde görme özürlülere (GÖ) bilmedikleri bir çevrede kılavuz olacak, Global yer belirleme sistemi (GPS) ve taşınabilir bir PC kullanan sistemler incelenmiştir. Öncelikle, GÖ'ye yönelik olarak üretilen ve GPS içeren/içermeyen navigasyon sistemleri detaylı olarak incelenmiştir. Konu ile ilgili yapılan daha önceki yayınlara göre, GÖ'ye yönelik GPS tabanlı navigasyon sistemlerinin üç problemi bulunmaktadır. Birincisi; GPS pozisyon hataları veya GPS sinyallerinin yüksek binalar, derin kanyonlar vb. sebeplerle iletilmemesi (ulaşımının engellenmesi), ikincisi; harita veritabanında bulunmayan, yol üzerindeki araç, kaya parçası vb. engellerin tanınmasındaki (belirlenmesindeki) zorluklar, diğeri ise, GÖ'nün bakış yönünün belirlenmesindeki güçlüklerdir.

Yapılan çalışmada, GÖ'ün üzerinde taşıdığı kameradan alınan görüntü ile uzaysal veritabanı bilgisine dayanılarak elde edilen kısmi çevre modeli kıyaslanarak, GÖ'nün bakış yönü belirlenmektedir. Uzaysal veritabanında bulunan ve GPS koordinatları ile ilişkili olan yol ve yola bitişik yapıların sınır koordinatları (YSK) kullanılarak sözde kenar haritaları (SKH) oluşturulmaktadır. Yapılan çalışmada SKH'ları oluşturmak için iki tane düşey yapı sınırı kullanılmaktadır. Oluşturulan SKH'lar, GPS koordinatları tarafından belirlenen yakın çevrenin kısmi bir modeli olmaktadır. GÖ bakış açısını (kamera dönme açısını) belirleyebilmek için, kamera görüntüsünden elde edilen görüntü kenar haritası (GKH) ile, kameranın bir derece aralıklı bütün dönme açıları göz önüne alınarak elde edilen, SKH'lar tek tek eşleştirilmektedir (kıyaslanmaktadır). Bir GKH ve SKH'nın eşleşmesi, belirli bir GPS pozisyon değeri için yalnızca belirli bir kamera dönme açısında mümkün olmaktadır.

Yukarıdaki işlemleri gerçekleştirebilmek için, öncelikle SKH'ı elde etmek için, izdüşüm işlemi detaylı olarak incelenmiştir. En genel halde, kameranın 'z' eksenine çevresinde belirli bir açı kadar döndüğü durum için, uzaydaki bir noktanın kamera görüntü düzlemindeki izdüşüm koordinatları hesaplanmıştır. GKH, MATLAB fonksiyonları kullanılarak elde edilmiştir. SKH ve GKH'nın kıyaslanması için Matlab'ta bir program yazılmış ve bu program kullanılarak, bazı testler yapılmıştır. Bu testlerde, GÖ bakış açısı (kamera dönme açısı), GPS pozisyon hatasına bağlı olarak birkaç derecelik bir hata ile belirlenebilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görme özürlü, yol yardımı, navigasyon, doğrultu bulma, uzaysal veritabanı, GPS

## ABSTRACT

In this thesis, GPS-based navigation systems with portable computer to be guide in unknown environment for visually impaired or blind people are examined in detail. First of all, navigation systems with/without GPS for blind people are examined in details. According to the literature, it is observed that GPS-based navigation systems for the blind people have three major drawbacks; the first, GPS position errors occurred or blocked GPS signals due to occlusion or other reasons such as high buildings or deep canyons, and the second, the high difficulty in recognition of dynamic obstacles such as vehicles or a piece of rock which do not exist in map database. The other drawback is lack of the blind's heading (orientation) information.

In this work, blind's orientation has been determined by matching the taken image from a camera carried by visually impaired people with partial environment model formed based on the spatial database information. It has been formed pseudo edge maps (PEMs) by using boundary coordinates of road and buildings that are next to the road in spatial database and connected with GPS position information. It has been used two boundary structures for forming PEM. The formed PEM has been a partial model of near environment determined by GPS coordinates. To determine blind's (or camera) orientation, it has been matched image edge map (IEM) obtained from camera image with PEMs by taking into account all the camera orientation angles at intervals one degree, one by one. For an GPS position, it has been possible that an IEM and PEM overlap for only certain camera orientation angle

To achieve above the mentioned tasks, first of all, projection task has been examined in detail to form PEMs. In general case, in case of rotation of the camera about 'z' axis in a certain degree, the projection coordinate in image plane of a point in space has been calculated. IEM has been calculated using MATLAB functions. Then, a program has been written in MATLAB for matching IEMs and PEMs and by using this program, several tests have been made. In this tests, The rotation of the camera has been determined with few degrees and limited errors dependent upon GPS position errors.

**Key Words:** Visually impaired, Electronic travel aid, Navigation, determine orientation, Spatial database, GPS

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>Sayfa</b>
TEZ ONAY SAYFASI	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
KISALTMALAR DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
<b>GİRİŞ</b>	1
<b>1. NAVİGASYON SİSTEMLERİ</b>	9
1.1. Tanımlar ve Temel Kavramlar	9
1.2. Elektronik Yol Yardımı	12
1.2.1. Ses (sonar-ultrasonik) tabanlı ürünler	14
1.2.2. Görsel tabanlı cihazlar	21
1.2.3. Kızılötesi tabanlı cihazlar	25
1.2.4. GPS tabanlı sistemler	27
1.3. Görsel Navigasyon Çalışmaları	39
1.3.1. Görsel navigasyonda genel kavramlar ve yaklaşımlar	39
1.3.2. Optik akış yöntemini kullanan navigasyon sistemleri	42
1.3.2.1. Optik akış düzeltimi	46
1.3.2.2. Kamera hareketinin belirlenmesi	47
1.3.2.3. İzafi hareketin belirlenmesi	48
1.3.2.4. Engel belirlemede optik akış kullanan bazı çalışmalar	49
1.3.2.5. Doğrusal zamanlı optik akışın navigasyonda kullanılması	53
1.3.3. Navigasyonda steryo kamera kullanılması	56
1.3.4. Navigasyonda tek kamera kullanan Sistemler	58
1.3.4.1. İzdüşümsel değişmezlik ilkesini kullanan	

sistemler	59
1.3.4.2. GÖ'ye yönelik, PC ve mikrobilgisayar kullanan bir sistem	61
1.3.4.3. Renk ayırımına dayalı engel belirleme	63
1.3.4.4. Engel belirlemede kenar gruplama yöntemi	65
1.3.5. Görüntü dizisi kullanan navigasyon sistemleri	67
<b>2. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	
2.1. GÖ'ye Yönelik Geliştirilmiş Yol Yardım Sistemlerinin Problemleri	72
2.2. GÖ İçin GPS Tabanlı Kamera Destekli Doğrultu Bulma Sisteminin Bileşenleri	73
2.3. Genel Hatları ile Doğrultu Bulma Algoritması	74
2.4. Kamera Görüntüsü Kenar Haritaları ve Kıyaslamadaki Önemi	75
2.5. Uzaydaki Bir Noktanın Kamera Görüntü Düzlemindeki İzdüşümü	82
2.6. Sözde Kenar Haritası	98
2.7. GPS Pozisyon Değişim Bölgeleri	102
2.8. Yapı Sınır Koordinatlarının Belirlenmesi	104
2.8.1. YSK' nın belirlenmesinde uzaklık kriteri	104
2.8.2. Kapatılma ve yola bakan cephelere ait YSK' nın seçilmesi	105
2.8.3. Yatay görüş açısı içinde kalan YSK' nın belirlenmesi	107
2.8.4. Düşey görüş açısının etkisi	111
2.9. SKH ile GKH' nın Eşleştirilmesi	113
2.10. Eşleşme Arama Algoritması	118
2.11. Optik Eksen Çevresinde Dönmüş Görüntülerin Düzeltilmesi	119
<b>3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA</b>	125
<b>KAYNAKLAR</b>	139
<b>EKLER</b>	144
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	
<b>TEŞEKKÜR</b>	

## **KISALTMALAR DİZİNİ**

BPNN	: Back Propagation Neural Network
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CCD	: Charge Coupled Device
CNN	: Cellular Neural Network
DGPS	: Diferansiyel GPS
DR	: Dead Reckoning
EYY	: Elektronik Yol Yardımı
FOE	: Focus of Expansion;
FOV	: Field of View
GIS	: Geographic Information System
GKH	: Görüntü Kenar Haritası
GÖ	: Görme Özürü
GPS	: Global Positioning System
INS	: Inertial Navigation System
IP	: Interesting Point
NN	: Neural Network
PC	: Personal Computer
PEM	: Pseudo Edge Map
RGB	: Red Gren Blue
SIFT	: Scale Invariant Feature Transform
SKH	: Sözde Kenar Haritası
YSK	: Yapı Sınır Koordinatları



## **ÇİZELGELER DİZİNİ**

Sayfa

Dönme açısı ile hizalama puanı arasındaki ilişki	122
DGPS karakteristikleri	153
GPS alıcı hataları	154
GPS karakteristikleri	158

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Hız tabanlı seyir (Dead Reckoning-DR) yöntemi	11
Düz yüzeyli engelde yansıma	16
Çok sayıda engelli durum	16
Çift frekanslı ultrasonik ölçme prensibi	17
Guide Cane'in işlevsel bileşenleri	19
Sound Buoy sistemi	20
Ultrasonik signpost sistemi	21
Optophon'un çalışma ilkesi	24
Navigasyon sisteminin çalışma ilkesi	25
Optik yol göstericiler kullanan navigasyon sisteminin ilkesi	27
Bir optik yol göstericinin blok diyagramı	27
Optik alıcının ve yönlendiricinin blok diyagramı	27
Sendero Group tarafından geliştirilen GPS-TALK sistemi	29
GÖ için tasarlanmış Kişisel Kılavuz Sisteminin temel bileşenleri	30
Drishti' de taşınabilir bileşenler ile etkileşim durumu	33
Drishti'nin Clint/proxy server yapısı	33
Drishti'de akıllı ev içinde ultrasonik pozisyon belirleme algoritması	34
Konum kılavuz sistemi	35
İvme sensörü çıkışı	36
GÖ'e yönelik, DGPS kullanılan bir navigasyon sisteminin ilkesi	36
GPS tabanlı bir navigasyon sisteminin basitleştirilmiş diyagramı	37
Kamera ve GPS kullanan Robotun şematik gösterimi	38
GPS ve kamera içeren robot navigasyon sisteminde kullanılan çevre modeli	38
Faklı durumlarda hesaplanan optik akışın kıyaslanması	44
Çok ölçekli fark tekniği (a) ve korelasyon tekniği (b) ile hesaplanan optik akışlar	44
Korelasyon tekniği ile hesaplanmış optik akışlar	47
Nispi hareketin optik akışı	49
Referans akış doğrusu	50
Ayrık engellerin belirlenmesi	51
Doğrusal zamanlı optik akışın temeli	54
243, 248, 253, 258 ve 263 çerçeveleri üzerinde nesnelerin ayrıştırılması	56
Engel belirleme işlemi	57
Projective invariant (izdüşümsel değişmez) ile engel belirleme	60
GÖ için önerilen taşınabilir bir navigasyon sistemi	62
Navigasyon işlemi	63
Görüntüden grid'e haritalama	64
Kenar gruplama	66
Çevrenin bölümlenmesi	66
Engellerin ve binaların belirlenmesi	66
Görünüş dizisi kullanan bir navigasyon sistemi	68
İki görünüş arasında eşleştirme işlemi	68
Tek kamera ile alınan ardışıl görüntü dizisi	68
CNN ile belirlenen kenar görüntüsü	71

Eşikten geçirilmiş eğitme görüntüleri ve referans görüntü	71
GÖ için doğrultu bulma sisteminin bileşenleri	74
Görüntü kenar haritası (GKH) ile sözde kenar haritasının (SKH) kıyaslanması yolu ile bakış açısının bulunmasına ilişkin algoritma	75
Kamera görüntüsünden kenar haritasının elde edilmesi aşamaları	77
Renkli (RGB) bir görüntü	77
Renkli (RGB) görüntünün gri seviyeli görüntüsü	77
Şekil 2.4'deki görüntüye ait sadece düşey kenarlar	78
Şekil 2.4'deki görüntüye ait yatay ve düşey kenarlar (Sobel operatörü ile)	78
Şekil 2.4 görüntüsüne ait yatay kenarlar	79
VE işlemi sonucu elde edilmiş GKH	79
VEYA işleminin sonucunda elde edilen GKH	80
XOR işlemi sonucu elde edilen GKH.	80
Görüntü en ve boy çözünürlüğünün 1/4 oranına düşürüldükten sonra alınan kenar haritası	81
Çözünürlüğü en ve boydan 1/16 oranına düşürülmüş görüntünün kenar haritası	82
Perspektif izdüşüm geometrisi	83
(Xc, Yc, Zc) noktasına ötelenmiş kamera	84
Ötelenmiş kamera modeli	86
Görüş açısını belirleyen kamera parametrelerinin deneysel yoldan hesaplanması	88
Kameranın Z eksenine çevresinde ve saatin tersi yönünde $\theta$ kadar dönmesi durumu	89
Görüntü düzlemi koordinatlarına geçmek için A noktasının orijine çekilmesi	91
İzdüşümü belirlenecek olan yol ölçüleri	93
C,D,E (a) ve C',D',E' noktalarının (b) görüntü düzlemindeki izdüşümü	95
theta=30 derece için A B C D E (a) ve A',B',C',D',E' (b) nün görüntü düzlemindeki izdüşümü.	96
İzdüşümü çizdirilecek olan bina ve ölçüleri	96
Şekil 2.24'deki binanın görüntü düzlemindeki izdüşümleri	97
İki yapı sınırına ait izdüşüm noktaları	97
SKH oluşturma ve bakış açısının bulunması	100
İzdüşüm noktalarının bulunabileceği pozisyonlar	101
Bir SKH	101
Yolun yatay olmaması durumunda pozisyon değişkenlerinin değişim bölgesi	102
Yol sınırlarının yatay olması durumunda pozisyon değişim bölgesi	104
YSK seçiminde uzaklık kriterinin uygulanması.	105
Binaların arka ve yan cephe sınırlarının diğer cepheler tarafından kapatılması	106
Bir yapının, kamera pozisyonuna bağlı olarak sınırlarının kapatılma durumları	107
Düzlemde y1 ve y2 doğruları arasında kalan iki bölgeyi tanımlayan eşitsizlikler	108
Kameranın $\theta$ kadar dönmesi ve yatay görüş alanı	109
Kamera dönme açısı $(\frac{\pi}{2} + \alpha < \theta < \frac{3\pi}{2} - \alpha)$	111
Dönme açısının $\theta = \frac{\pi}{2} - \alpha$ olduğu durum	111
Yapı sınırının üst kısmının, düşey görüş alanı dışında kalması	112
Yer (XY yatay düzlemi) üzerindeki bir noktanın, düşey görüş alanı içinde kalma koşulu	113
Kamera dönme açısı 40, 45, 50, 55, 60 ve 65 derece iken üretilen SKH'lar	116
Testlerde kullanılan RGB görüntü	117

Testlerde kullanılan RGB görüntü	118
Şekil 2.41'deki RGB görüntünün kenar haritası	118
C1 ve C2 sütun indeksleri çevresindeki tarama bölgesi	119
Optik eksen çevresindeki dönmelerin düzeltilmesi algoritmasının akış diyagramı	121
Saatın tersi yönünde 5 derece döndürülmüş kenar görüntüsü	122
Saatın tersi yönünde 10 derece döndürülmüş ikili görüntü	123
Düzeltilme algoritması uygulaması	124
GPS için ECEF dik koordinat sistemi	152
Uydu takımı (uzay bölümü)	153
Motorola GPS alıcısının yapısı	154
GPS hata kaynaklarından ikisi	155
İki uydu sinyali ile elde edilen pozisyon değerleri	155
Üç uydu sinyali kullanıldığında bulunan pozisyon	156
DGPS konum belirleme yöntemi	158

## GİRİŞ

Görme yeteneği insanlara verilen en büyük yeteneklerden biridir. Sağlıklı insanlar genellikle günlük yaşantılarında bunun farkında olmasalar da, görme özürlü olan insanların bunun yokluğunu fazlaca hissettikleri bir gerçektir. Çünkü günlük yaşantılarını sürdürebilmek için büyük ölçüde başkalarının yardımına ihtiyaç duymaktadırlar. Dünya sağlık örgütünün tahminine göre, Dünyada yaklaşık 180 milyon görme özürlü insan bulunmaktadır (Nagarajan ve ark. 2004). Bunların 40-45 milyonunun tamamen göremediği tahmin edilmekte ve 2020 yılına kadar bu sayının ikiye katlanması beklenmektedir.

Çevreyi algılama ve tanıma bütün bireyler için çok önemlidir. Görme özürlülerin en temel ihtiyaçları; çevreyi tanıma, bilgiye erişim ve bağımsız olarak hareket edebilme yeteneğidir. Görme özürlü (GÖ) için bir mağazada veya benzeri yerlerde bir araçla gezinmenin yanında çevredeki işaretleri, önemli mekanları, sokakları tanımak da önemlidir. Bundan dolayı çevreden faydalanma, engellerden sakınmanın yanında, çevre özelliklerinin anlaşılması, tanınması ve yorumlanmasını da kapsamaktadır. Yakın çevre ile her türlü etkileşimde başkalarına bağımlı olmayı azaltan, taşınabilen bir cihazın yaşam kalitesini arttıracakđı açıktır.

Bu tezde, GÖ insanların dışarıda bağımsız hareketini arttırmaya yönelik yapılan GPS tabanlı yol yardım sistemleri araştırılmış incelenmiş ve bu incelemenin sonucunda bu yol yardım sistemlerinin üç önemli eksikliğinin bulunduğu görülmüştür. Bunlar; GPS'in konum belirleme hataları ve uydu sinyallerinin alınamadığı durumlarda yer belirlemenin yapılamayışı, dinamik engel bilgileri ile GÖ'nün yönünün belirlenmesine ilişkin konulardır.

Pozisyon bilgisinin kaybolması veya çok hatalı olması durumunda yardımcı bir yer belirleme sisteminin bulunmaması, GÖ'nün kaybolmasına ve panik içinde kalmasına neden olabilir. GPS-PC tabanlı bir sistemde bütün bilgiler, belirlenen konum bilgisine dayalı olduğundan, böyle bir sistem için yer belirlemenin en az hata ile yapılması çok önemlidir. GPS sinyallerinin alınabildiği durumlardaki konum hatasını

telafi etmek veya en az seviyeye indirebilmek için Diferansiyel GPS (DGPS) kullanılmıştır. Fakat bunun bir maliyeti vardır. Ayrıca sinyallerin alınmadığı durumlarda DGPS de etkisiz kalabilmektedir. GPS'in hata kaynaklarının çok değişken olması ve modellenmesinin zorluğu, GPS hatasını tamamen ortadan kaldırmayı zorlaştırmaktadır.

GPS konum hatalarını ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar sonucunda, çok yollu yansıma (multipath) hatalarını ortadan kaldırmak olmakta (Fante ve Vaccaro 2002) ve günümüzde bu tür GPS'ler üretilmektedir. Ormanlık alanlar ve yüksek binalar vb. yerlerde ise, GPS uydu sinyalleri tamamen bloke edilebilmektedir. Bu durum GÖ'nün kaybolması ile sonuçlanabilmektedir. Pozisyon bilgisinin sürekliliğini sağlayabilmek için, GPS'e ilave olarak, yer belirlemede kullanılan başka sistemler de önerilmiştir. GPS'e ilave olarak önerilen en yaygın yer belirleme sistemleri 'Inertial Navigation -INS' ve 'Dead Reackoning -DR' yöntemleridir. Bu yöntemlerin sisteme eklenmesi, sistemin maliyetini arttırmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin de kendi sakıncaları bulunmakta ve bu sakıncaların ortadan kaldırılmaları gerekmektedir. Örnek olarak; DR sisteminin işleyişi gereği ortaya çıkan kümülatif hatalar (açı ve yer değiştirme hataları) bulunmakta (Zhao 1997), INS sistemi ise, büyük maliyet getirmektedir.

GÖ'nün yolculuk sırasında ihtiyaç duyduğu en önemli bilgilerden biri; yolun engel bilgisidir. GÖ yol alırken, karşısına çıkan ve kendisi için tehlike arz eden engelleri bilmek zorundadır (ister). Engel bir tümsek, çukur, yol üzerinde bulunan veya asılı duran bir cisim vb. olabilir. Bu bilgiye sahip olmak GÖ'nün kendisini emniyette hissetmesini sağlayabilir. GÖ'nün engellerden korunma ve yolunu bulmada kullandığı en basit ve en eski araçlardan birisi bastondur. Fakat baston potansiyel engeller konusunda yetersiz kalmaktadır. Güzergah üzerinde bulunan potansiyel engellerin GÖ tarafından önceden bilinmesi, GÖ'nün yolculuğu sırasında kendini daha güvende hissetmesini sağlar. Çünkü yeterince uzakta ve yeri belirlenmiş bulunan bir engelin varlığının daha önceden bilinmesi durumunda, bu engelden kaçınabilmek ve izlenecek güzergah konusunda yeni bir strateji belirlemek için zaman bulunmaktadır.

GPS tabanlı sistemlerin çoğunda coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve bu sistemle ilişkili bir veritabanı kullanılmaktadır. Bu veritabanı vasıtası ile insan yapısı (man-

made; structured) engellerin yeri genellikle bilinmesine karşılık, dinamik (araçlar, yola düşen bir taş vb.) engel bilgilerinin veritabanında bulunması imkansızdır. Bu nedenle GÖ'ye yönelik, GPS tabanlı yol yardım sistemlerinin dinamik engel bilgisi yokluğu, sistemlerin diğer bir eksiği olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, GPS-PC tabanlı sisteme, istenen zaman aralıkları ile görüntü alabilen bir kameranın entegre edilmesi önerilmiştir. Kamera görüntüsü ile veritabanı bilgisi birlikte kullanılarak, GÖ'nün yönü belirlenmektedir. Bu amaçla öncelikle, uzaydaki bir noktanın izdüşümünün koordinatlarının belirlenmesi incelenmiştir. Uzaydaki bir noktanın görüntü düzlemindeki izdüşüm koordinatlarının belirtilen şartlar altında doğru olarak bulunması büyük önem taşımaktadır. Veritabanındaki sınırlı sayıdaki yapı sınır koordinatı (YSK) ve bunların izdüşümleri kullanılarak, sözde kenar haritası (SKH) oluşturulmaktadır. YSK, GÖ'den belli bir uzaklığa kadar (örneğin 30-40metre) olan ve kamera görüş alanı içinde bulunan yapıların sınırlarıdır. Yapılan çalışmada, YSK'nın oluşturulmasında iki sınır koordinatı kullanılmaktadır.

YSK'nın oluşturulmasında göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden biri de kameranın yatay ve düşey görüş açıları veya kameranın görüş alanıdır. Yatay ve düşey görüş açısı çoğu zaman kamera üreticileri tarafından verilmemektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada, kameranın yatay ve düşey görüş açıları deneysel yoldan bulunmuştur. Buna göre, kullanılan kameranın yatay görüş açısı 52, düşey görüş açısı 38 derece kadar hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada, SKH ile kamera görüntüsünden elde edilen görüntü kenar haritası (GKH) eşleştirilerek (kıyaslanarak), GÖ bakış yönü birkaç derecelik bir hata ile belirlenebilmektedir. Bu eşleştirmenin başarılı olabilmesi için iki haritanın karşılaştırılan kısımlarının mümkün olduğu kadar benzer olmaları gerekmektedir. Bunu sağlamak için, GKH'daki düşey kenarların mümkün olduğu kadar sürekli olması istenmektedir. GKH'ın bu koşulu sağlayacak şekilde elde edilebilmesi için farklı kenar belirleme yöntemlerinin sonuçları incelenmiştir. Bu incelemelerin sonucunda renkli kamera görüntüsünün çözünürlüğü  $\frac{1}{4}$ 'e düşürüldükten ve gri seviyeli bir görüntüye dönüştürüldükten sonra 'canny' kenar belirleme operatörü ile kenarların belirlenmesine karar verilmiştir.

SKH'nın oluşturulmasında, GÖ belirli bir pozisyonda iken, kameranın optik ekseninin yatay eksenden itibaren saatin tersi yönünde adım adım 360 derece döndürüldüğü varsayılmaktadır. Her dönme açısı ve kamera pozisyonu için birkaç SKH üretilmekte ve bu SKH'lar GKH ile kıyaslanmaktadır. Bu kıyaslama sonucunda, belirli bir eşik değerini aşan eşleşmelerin olması durumunda kamera dönme açısı (GÖ'nün bakış yönü) belirlenebilmektedir.

SKH'nın elde edilmesinde kullanılan uzaysal veritabanındaki yapı sınır koordinatlarının seçilmesinde belirli şartların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlar; uzaklık, yatay ve düşey görüş açısı ve yapı sınır cepheleridir. Uzaklık koşulu, yarıçapı belirli bir çemberin iç bölgesinde kalan YSK'nın seçilmesi anlamına gelmektedir. SKH oluşturmada kullanılan ve diğer koşulları sağlayan koordinatlar, basit olarak yapıların yol sınır cephelerinin koordinatları olmaktadır. Bu koordinatların seçilmesinin nedeni, yapıların yol sınır cephelerinin herhangi bir yapı tarafından kapatılmamış olmasıdır.

GÖ'nün nereye baktığını (veya ne tarafa yöneldiği) ve baktığı (yöneldiği) tarafta neler olduğunu bilmek istemesi, GÖ'nün yönünün belirlenmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır. Kullanılan GPS'in pusula özelliği bulunmasına karşılık, ani yön değişimlerini gösterememesi, görüntünün alındığı yönün pusula ile belirlenmesinde hatalı sonuçlar doğurabilmektedir.

GKH ve SKH'nın eşleşmiş olduğuna karar verebilmek için, kıyaslanan kısımlarının %60 (kriter) ve üzerinde benzerlik oranı göstermesi gerekmektedir. Benzerlik oranı, SKH ve GKH'nın aynı sütun indekslerindeki eleman sayılarının oranı olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen test sonuçlarına göre benzerlik oranının %60 seçilmesi uygun bir değer olarak görülmektedir. SKH ve GKH ile ilgili kıyaslama (eşleşme) test sonuçları Ek-1'de sunulmaktadır.

Sıradan kameralarda genellikle, uzaydaki bir noktanın izdüşüm koordinatları, çeşitli nedenlerden dolayı, teorik yerinden farklı bir noktada olabilmektedir. Bu farklılık, SKH ve GKH'nın örtüşmesini (eşleşmesini) engelleyebilmekte veya dönme açısının yanlış tespit edilmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, uzaysal veritabanından elde edilen YSK'lar da hata içerebilir. Yapılan çalışmada bu problemi çözebilmek için



eşleşme arama algoritması yazılmıştır. Belirli bir değişken takımı için elde edilmiş olan her SKH için, sütun indeksleri belirli bir arama bölgesi içinde değiştirilmekte ve sütun indekslerinin bu bölge içindeki bütün değişimleri için GKH ile örtüşme olup olmadığına bakılmaktadır. Yapılan çalışmada belirli bir değişken takımı için bu şekilde dört adet SKH üretilmektedir. Eşleşme arama algoritmasının sağladığı diğer önemli bir avantaj, kamera kalibrasyonunu gereksiz kılmasıdır.

Yapılan çalışmada kameranın sadece 'z' eksen çevresinde dönebildiği varsayılmasına rağmen, gerçekte kameranın, GÖ'nün hareketi sırasında her üç eksen çevresinde dönmesi mümkündür. SKH ve GKH'nın sağlıklı olarak eşleştirilebilmesi için görüntünün dönmemiş olması gerekmektedir. Bu problemi çözebilmek için, insan yapılarının nispeten fazla olduğu çevrelerden alınan ve optik eksen çevresinde dönmüş olan görüntülerin düzeltilmesi için bir algoritma geliştirilmiştir.

Çalışmalar sırasında, analizleri kolaylaştırmaya yönelik olarak bazı varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar, yolun düzlemsel, doğrusal ve eğimsiz olması, GPS pozisyon bilgisinin kesintisiz olması, GÖ'nün hareketi sırasında yol sınırları içinde kaldığı, kameranın sadece 'z' eksen çevresinde döndüğü vb. varsayımlardır. Bu varsayımlar 2.ci bölümde sunulmuştur.

Yapılan çalışmanın bilime katkıları şu şekilde özetlenebilir. Yapılan çalışmada uzaysal veritabanı verilerine dayanılarak kısmi bir çevre modeli oluşturulmaktadır. Bu çevre modeline sözde kenar haritası denmektedir. Bu model kullanılarak, GÖ'nün bakış açısı, üçüncü bölümde ayrıntısı ile açıklandığı şekilde, tez çalışmasında geliştirilen bir yöntem kullanılarak bulunmaktadır. Literatürde kullanılan yön veya doğrultu bulma yöntemleri ile kıyaslandığında, yapılan çalışmada, bilime bir katkı sağladığı ve farklı bir bakış açısı kazandırdığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada, veritabanı bilgisinden (3. bölümde ayrıntısı ile açıklandığı şekilde) farklı bir şekilde faydalanılmaktadır. Literatüre göre, navigasyon sistemlerinde genellikle harita veritabanı kullanılmaktadır. Fakat bu çalışmalarda veritabanı GÖ'ye çevre bilgisi vermek için kullanılmaktadır. Bu bilgiler, GÖ herhangi bir noktada iken, GÖ'nün belirli noktalara olan uzaklığı veya hedefine olan yakınlığı gibi bilgilerdir. Bu açıdan bakıldığında, yapılan çalışmada uzaysal veritabanı çevre bilgisi vermek amacıyla

değil, fakat daha farklı bir biçimde ve GÖ'nün bakış yönünü bulmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu da çalışmanın bilime bir katkısı olarak düşünülmektedir. GPS verisi, görsel bilgi ve veritabanı bilgisinin, GÖ'ye yol yardımı açısından birlikte kullanılmış olması da bu çalışmanın diğer bir katkısı olarak görülmektedir.

Tezin sunumu sırasında, aşağıda özetlenen sıra takip edilmiştir. Bölüm 1'de tezin genel bir özeti verilerek, yapılan işlemler ve tez ile sunulan yenilikler açıklanmış, tez düzeni sunulmuştur.

1.ci bölümde literatür taramasının sonuçları ile uygulama için gerekli olan teorik bilgiler mümkün olduğu kadar özet şeklinde verilmiştir. Tez çalışmasında kamera görüntüsü kullanıldığı için, görüntü işleme teknikleri de önem taşımaktadır. O nedenle bu bölümde, görsel navigasyon çalışmalarına da yer verilmiştir. Bu bölüm temel olarak 3 alt başlık altında sunulmaktadır. Bölüm 1.1'de navigasyon terimleri ve sistemleri genel olarak ve temel özellikleri ile ele alınmıştır. Bu bölümde, pozisyon güncelleme ve yönlendirme metotları sınıflanmış ve kısaca tanıtılmıştır. Bölüm 1.2'de elektronik yol yardım (EYY) sistemleri (GÖ'ye yönelik olan ve olmayan) sunulmuştur. Bu bölüm içinde navigasyon sistemleri, ses (sonar) tabanlı, görsel tabanlı, kızılötesi ve GPS tabanlı navigasyon sistemleri, olarak sınıflanmış ve bunlar ayrı ayrı açıklanmıştır. Bu alt bölüm kapsamında sunulan görsel tabanlı sistemler daha çok optik tabanlıdır. Bu bölümde sözü edilen sonar tabanlı sistemler daha çok engel tanıma ve yer belirlemeye yöneliktir ve ultrasonik dalganın gidiş-dönüş zamanından (time of flight-TOF) faydalanmaktadır. Bu bölümde sunulan başlıca görsel tabanlı sistemler, 'Talking Cane', 'Optophone projesi', 'Laser Baston'dur. Kızılötesi tabanlı cihazlar kapsamında ise, kızılötesi bir alıcı ve vericiden oluşan ve GÖ'nün yerinin belirlenmesinde kullanılabilen 'Talking Signs' sistemi açıklanmıştır. Bu bölümde açıklanan ve GPS tabanlı sistemlerin karakteristik özelliklerini taşıması bakımından önemli olduğu düşünülen GPS tabanlı sistemlerden bazıları sunulmuştur. Bu sistemlerden bazıları 'MoBIC', 'Kişisel kılavuz sistemi', 'GPS-Talk' ve 'Drishti' navigasyon sistemleridir.

Bölüm 1.3'de görsel navigasyon çalışmaları sunulmuştur. Bu bölümde öncelikle, literatürde geçen çeşitli kaynakların görüşüne dayanan temel yaklaşımlar sunulmuştur. Literatürde geçen ve önemli görülen, görsel navigasyon çalışmaları alt bölümler içinde

sunulmuştur. Bu alt bölümler, optik akış ilkesini kullanan, tek kamera kullanan, çift kamera kullanan navigasyon sistemleri ile görüntü dizisi kullanan navigasyon sistemleri olarak düzenlenmiştir. Bu bölümdeki, izdüşümsel değişmezlik ilkesini kullanan sistemler, literatürde görsel tabanlı engel tanıma tekniklerinden birisi olarak sınıflandırılmaktadır. Bundan başka, kamera ile birlikte bir PC kullanan, renk ayırımına dayalı engel belirleyen ve kenar gruplama yöntemi ile engel belirleyen sistemler sunulmuştur.

2.ci bölümde, ifade edilen problemlerin çözümüne yönelik yapılan çalışmalar ve bu çalışmalar sırasında MATLAB’da elde edilen sonuçlardan bir kısmı sunulmuştur. Uzaydaki bir noktanın görüntü düzlemindeki izdüşümünün bulunmasına ilişkin matematiksel çözümler ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir. GKH ve SKH’nın elde edilme aşamaları ayrıntısı ile açıklanmıştır. GKH’nın en iyi şekilde elde edilebilmesi için, farklı kenar belirleme yöntemleri, sonuçları açısından kıyaslanarak sunulmaktadır. Bölüm içerisinde YSK’nın elde edilme aşamaları ayrıntısı ile açıklanmıştır.

Bu bölümde ayrıca kameranın optik eksen çevresindeki dönmesinin düzeltilmesi işlemi açıklanmaktadır. Kameranın optik eksen çevresindeki dönmeleri, diğer eksenler çevresindeki dönmelere göre, SKH ve GKH’ın kıyaslanması açısından çok daha etkili görünmektedir.

3.cü bölümde araştırma sonuçları ve çalışmanın devamına ilişkin açıklamalar yer almaktadır. Bu işlem için yazılan algoritmanın uygulamasının sonuçları sunulmuş, MATLAB’ta alınan sonuçlar özetlenmiş ve değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sırasında elde edilmiş olan sonuçlar vurgulanmıştır. Ek-2’de sunulan, GKH ve SKH’nın kıyaslanmasına ilişkin test sonuçlarının değerlendirilmesi bu bölümde sunulmaktadır. Bu sonuçlara göre, yapılan çalışmada, MATLAB’ta yazılmış olan doğrultu bulma programın sağlıklı çalıştığı ve GÖ’nün bakış açısının, GPS hatasına bağlı olarak birkaç derecelik bir hata payı ile bulunabileceği gösterilmiştir.

Bu bölümde çalışmanın devamına ilişkin açıklamalar da yer almaktadır. Buna göre, çalışmanın devamında, sistemin genel olarak gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılabilir hale getirilmesi, araç ve robot navigasyonu için kullanılması, görüntü

dizilerinin de hesaba katılarak engel belirlenmesi vb. hedeflere ulaşılması planlanmaktadır.

## 1. NAVİGASYON SİSTEMLERİ

Bu bölümün 3 alt başlık halinde sunulması planlanmıştır. İlk olarak navigasyon terimleri ve sistemleri genel olarak ve temel özellikleri ile ele alınmış ilgili temel kavram ve tanımlar ele alınmış, daha sonra literatürde GÖ'ler için tasarlanmış olan GPS tabanlı navigasyon sistemleri genel özellikleri ile sunulmuş, sonraki bölümlerde ise görsel tabanlı navigasyon ile ilgili literatürde önemli geçen diğer çalışmalara değinilmiştir.

### 1.1. Tanımlar ve Temel Kavramlar

Navigasyon kelime anlamı ile 'seyrüsefer' olarak ifade edilebilir. Bu tezde navigasyon teriminin kullanılması daha uygun görülmüştür. Navigasyon sözlükte, yeryüzünde, havada veya denizde yön ve pozisyon belirleme olarak tanımlanmaktadır. Buradaki anlamı itibarı ile bir yerden başka bir yere güvenli bir şekilde ulaşmak kastedilmektedir. Bu tezde sadece GÖ'nün navigasyonu araştırılmıştır. Bu başlık altında öncelikle bazı navigasyon terimleri aşağıda tanımlanmıştır (Anonim 1995).

*Hareketlilik (Mobility)*: Bulduğumuz noktadan istenen bir noktaya emniyetli bir şekilde gitme eylemi veya yeteneği.

*Yönlenme (Orientation)*: Bir insanın, hatırlanan veya gözlenen bir referans noktasına göre yön ve uzaklık bilgisi (referans alınan bir noktaya göre nerede bulunduğu bilgisi) ve hareket sırasında bu bilgi değişirken bu ilişkiyi koruma.

*Mikro Seyir (micro navigation)*: İnsanın baş seviyesindeki ve yerdeki engellerden sakınması ve kendine düzgün bir yol seçmesi. Engellerden sakınmanın yanında 'Mikro seyir' bilgileri yolcunun o anki yeri ile ilgili olan yakın çevresini de kapsar. Bundan dolayı 'Mikro seyir', kapı numaralarının algılanmasını vb. bilgiyi de kapsar. Bu konuda ise kılavuz köpek veya baston yetersiz kalır. EYY (Elektronik Yol Yardımı-Electronic Travel Aid) engelleri fark etmede bir araç olmanın yanında, GÖ'nün kritik noktaları (çıkış, asansör gibi ) bulmasında önemli olabilecek bilgiler de sağlar.

*Makro Seyir (Macro navigation):* GÖ bir bölge içinde bir noktadan diğerine ulaşmak için hareket ederken hangi sokakta olduğu, belli yerlere göre nerede bulunduğu, seçtiği hedefe göre doğrultusunun ne olduğu vb. bilgileri kapsar.

Mikro seyir GÖ'yü, sadece yolu üzerindeki engeller konusunda bilgilendirir fakat bu yeterli değildir. GÖ aynı zamanda bulunduğu yerle gideceği hedef arasındaki ilişki konusunda da bilgilendirilmeli ve bu uzaysal ilişki, hareket sırasında güncellenmelidir. Bundan dolayı makro seyir çevresel ilişkilerin bütünü anlamaya yardımcı olur. GÖ'nün kendi başına yönelmesini sağlamanın ve o anki konumunun makro yapı ile ilişkisini anlatmanın yanında, etkili bir makro seyir, bir yolculuk planı yapmayı da mümkün kılar. Sonuç olarak; makro seyir, mikro seyir bilgilerinin ve A'dan B'ye gitmek için gereken geometrik/yapısal bilgilerinin bütünleştirilmesidir (birleştirilmesidir). Burada bahsedilen adaptif yardımların çoğu makro seyir problemini tam olarak çözmüş değildir. Bunlar genellikle güvenli bir hareketi sağlayan bilgiler içerir. Fakat yönelme (orientation) ve uzaysal bütünleştirme konusunda yetersizdir (Petrie ve ark. 1996,Guidice 2000).

Hiç kuşkusuz GÖ'nün bir yerden başka bir yere, başkasından yardım almadan gidebilmesi ve çevresindeki varlıklardan ihtiyacı ölçüsünde haberdar olması onun kendine olan güvenini arttırabilir ve hayatını büyük ölçüde kolaylaştırabilir. Fakat burada hemen belirtmek gerekir ki çevre bilgisi çok yoğundur; gören insanlar sürekli olarak çevre bilgisini alırlar ancak hiçbir zaman bu bilginin tamamını kullanmazlar. O an için ihtiyaç duydukları (ilgilendikleri nesne veya olaylar) neler ise bunu değerlendirirler, diğer bilgiler değerlendirmeye alınmaz. O halde GÖ için yolculuğu sırasında hangi bilgiler önemlidir hangileri değildir bunu bilmek veya dikkate almak da gereklidir; yoksa bütün çevre bilgisini ayrıntılarıyla vermek hem imkansız hem de gereksizdir.

Pozisyonu güncelleme ve yönelme metotları, kinematik sıraya göre şöyle sınıflandırılmıştır (Loomis ve ark. 1998).

**1- Yer Tabanlı Seyir (Position-based navigation): ‘pilotage’ veya ‘piloting’** olarak da bilinir. Yolcunun yön ve pozisyonunu belirten harici işaretlere ihtiyaç duyar. (Genellikle harici veya dahili bir harita ile birlikte)

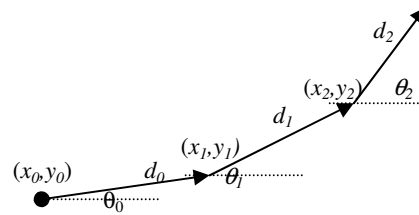
**2- Hız Tabanlı Seyir (Velocity-based navigation): ‘dead reckoning-DR’ veya ‘path integration’** olarak bilinir. Yolcunun hızını belirten harici veya proprioceptive (pozisyon bilgisine dayalı olarak hareket) işaretlere gereksinim duyar. Orijine göre yer değiştirme ve yön (heading change), hız vektörünü entegre ederek bulunur. Yolcunun konum koordinatları  $(x_n, y_n)$  ise, sensörler (differential odometer, cayroskop, magnetik pusula, hall etkili sensör gibi) vasıtası ile yolcunun (veya aracın) doğrultusu ‘ $\theta$ ’ ve başlangıç noktası olarak belirlenen noktaya göre uzaklığı ‘ $d$ ’ ölçülebilir. Yolcunun  $t_n$  anındaki koordinatları  $(x_n, y_n)$  ve  $t_n$  anındaki doğrultusu  $\theta_n$  aşağıdaki denklemlerden elde edilebilir (Zhao 1997).

$$x_n = x_0 + \sum d_i \cos \theta_i \quad (1.1)$$

$$y_n = y_0 + \sum d_i \sin \theta_i \quad (1.2)$$

$$\theta_n = \sum \omega_i \quad (1.3)$$

Burada  $(x_0, y_0)$ , yolcunun (aracın)  $t_0$  anındaki konumudur.  $d_i$  ise,  $t_{n-1}$  ile  $t_n$  zamanları arasındaki yer değiştirme miktarıdır.  $\theta_i$  yer değiştirme vektörünün yönü,  $\omega_i$  ise, açısal hızdır.



Şekil 1.1 ‘Hız tabanlı seyir’ (Dead Reckoning-DR) yöntemi (Zhao 1997)

Sensör bilgileri örnekleme periyodu sabit ve yeterince küçük olduğunda ( yolcu (araç) hızındaki değişme bir periyot içinde sabit kabul edilebilecek kadar küçük);

$$\left. \begin{aligned} x_n &= x_0 + \sum v_i T \cos(\theta_i + \omega_i T) \\ y_n &= y_0 + \sum v_i T \sin(\theta_i + \omega_i T) \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

yazılabilir.

Burada  $v_i$  ilgili (i.ci) örnekleme periyodu içinde ölçülen hızdır. Yukarıdaki matematiksel ifadelerden anlaşıldığı gibi, periyot 'T' yeterince küçük seçilirse (1.3) ve (1.4) denklemindeki ' $\Sigma$ ' ifadesi, ardışıl yatay ve düşey yer değiştirmelerin sürekli integraline dönüşür. Bu yöntemde her bir örnekleme periyodunda hesaplanan pozisyon, bir önceki periyotta hesaplanan değere bağlı olmaktadır. Eğer bir önceki veya o anki periyotta, sensör hassasiyetinin yetersiz olması veya örnekleme periyodu içindeki hız değişimlerinin ihmal edilemeyecek kadar büyük olması durumunda bir hesaplama hatası yapılmışsa, bunu telafi etmek oldukça zordur. Bu gibi hataları ortadan kaldırmak için bazı algoritmalar tanımlanmıştır.

**3- İvme tabanlı Seyir (Accelaration-based navigation): inertial navigation-INS** veya '**path integration**' olarak bilinir. Orijine göre olan yer değiştirmeyi ve baş yönünü (heading) belirleyebilmek için, yolcunun doğrusal ve dairesel ivmesinin çift katlı integrasyonu gerekir. Bu yöntem harici bir sinyale gerek duymamaktadır. Bu ölçme sisteminde cayroçipler vasıtası ile ivme ölçülür (Anonim 1997) ve aşağıdaki şekilde hız ( $v$ ) ve yer değiştirme (yol- $s$ ), ivmeden ( $a$ ) türetilir. Burada ivmenin x ve y bileşenleri iki ayrı cayroçip ile ölçülür. Cayroçipler açısal hızlarla orantılı bir DC çıkış vermektedir.

$$\text{İvme } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow v = \int a.dt, \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow s = \int v.dt = \iint a.dt \quad (1.5)$$

Çoğu zaman bir sistemde bu yöntemlerden birden fazlası kullanılmakta, yalnız birisi ile yetinilmemektedir. Birisinin yetersiz olduğu yerde, diğer yöntem devreye sokularak, seyrin sağlıklı olarak sürdürülmesine yardımcı olunmaktadır.

## 1.2. Elektronik Yol Yardımı

GÖ'in yollarını bulmakta şimdiye kadar kullandıkları geleneksel araçlar baston, kılavuz köpek (guide dog), kabartma harita (tactile maps), kılavuz insan (sighted reader) gibi araçlardır. Kabartma haritalar, bir şehrin veya ülkenin kabaca bir planını vermekte, fakat sokak, köşe taşları (dönüm noktaları) vb. bilgileri detaylı olarak genelde



içermemektedir. Bu şekilde çözünürlüğün sınırlanmış olması, GÖ'ün, harita detaylarını tanımlayan kılavuz bir insana ihtiyaç duymaları anlamına gelmektedir (Blenkhorn ve Evans 1997). Kılavuz köpek ve baston ise, ancak daha önceden bilinen bir yolda ilerlemeyi ve yol üzerinde bulunan bazı engellerden sakınmayı sağlayabilmekte, fakat gidilecek olan yere ne kadar uzaklıkta bulunduğu ve belli başlı bilinen yerlere (dönüm noktası) göre konumun ne olduğu konusunda bir fikir vermemektedir.

GÖ'in, yollarını bulmalarını ve çevreyi tanımalarını kolaylaştırma çabaları, yakın zamana kadar, bireylerin engellerden sakınmasına yardımcı olan araçların gelişimi ile sınırlanmıştır. Görme özürülüler tarafından kullanılan ilk engel sezme aracı olan bastondan sonra, bu konudaki çalışmalar, 'lazer baston' ve 'ultrasonic engel sezici' gibi elektronik yol yardımına kaymıştır (Loomis ve ark. 1998, Loomis ve Golledge 2001, Guidice 2000). Bu araçlara rağmen, yine de GÖ'ler tek başlarına yolculuk yapma yeteneğinden yoksundurlar. Bilinmedik bir çevrede güvenilir bir yolculuk yapabilmek için, bu araçların sağladığından daha fazla bilgiye gereksinim duyulmaktadır. Çünkü bahsedilen bu araçlar, sadece yol üzerindeki engellerden sakınmayı sağlayabilir. Kişinin bulunduğu yerin, varılacak hedef ile (veya herhangi bir başka nokta) ilişkisini vermemektedirler. Yani mekan ilişkisini sağlamamaktadırlar. Bu nedenle bu araçlar, yolcunun kaybolmasını engelleyememektedir.

Son 10 yıl içinde yol bulma yardımındaki çalışmalar daha çok seyir elemanlarına yönelmiştir. Yaklaşımlardan birisi, yolcunun geçeceği yol boyunca yer belirleyiciler (location identifiers) yerleştirmek olmuştur. Dokunsal belirleyiciler uygun (yeterli) olmamıştır, çünkü GÖ'ler bütün çevreyi taramak istemektedir. Bunun yerine, özel bir ekipman ile GÖ tarafından uzaktan algılanabilecek belirleyiciler kullanarak bir çözüm düşünülmüştür. Şu anda varolan böyle bir uzaktan algılama sistemi 'Talking Signs' olarak tanıtılmıştır. 'Talking Signs' sisteminde kızılötesi yayıcılar, yolcu güzergahı boyunca yerleştirilmektedir. Bu, çok sayıda yönelmiş vericiler, verici üzerindeki pilin gücüne bağlı olarak 15-40m arası bir bölge içinde sürekli olarak, vericinin yerini gösteren dijital ses bilgisi yaymaktadır. Kızılötesi alıcısı bulunan yolcu, vericiden yayılan bu sinyalleri alır ve kızılötesi işareti yayan vericinin yer bilgisini ses olarak işitir. Vericinin yerini saptamak için alıcı, maksimum sinyal şiddetini elde edecek

şekilde yönlendirilmektedir (Loomis ve ark. 1998, Loomis ve Golledge 2001, Cai ve Gao 200). Bu sistemlerden önemli görülenler aşağıda sunulmuştur.

Şimdiye kadar GÖ'ler için yapılan Elektronik yol yardımı (EYY) araştırma ve ürünleri, çevre bilgisinin alınma yöntemine bağlı olarak,

- Sonik sensörler kullanan ses tabanlı ürünler
- Lazer kamera veya diğer optik devreler kullanan görsel tabanlı ürünler
- Kızılötesi devreler kullanan ürünler
- GPS tabanlı ürünler

olmak üzere dört gruba ayrılabilir (Guidice 2000).

Bütün bu sistemler çevre ile ilgili işitsel veya dokunsal bir bilgi vermektedirler. Fakat çevre bilgisinin çok fazla olduğu görülebilmektedir. Bu sistemlerin kullanıcı arabirimi ile diğer birimler arasındaki veri alışverişi genel olarak seri port kullanılarak yapılmaktadır. Bu yüzden, yoğun çevre bilgisinin istenen zaman içinde GÖ'ye ulaştırılmasında zorluklar bulunmaktadır. Çevre bilgisi, bu bilginin ulaştırılmasından daha hızlı değişiyorsa, bu bilgilendirmeden kullanıcının yeterince yararlanamayacağı açıktır. Başka bir deyişle, bilginin güncellenme hızının çevre bilgisinin değişiminden hızlı olması gerekmektedir. Bu nedenlerden ötürü, GÖ'ye aktarılacak çevre ile ilgili bilgiler, seçilmeli ve GÖ'nün o an en çok ihtiyaç duyduğu bilgilere odaklanılmalıdır (Guidice 2000). Bu sebeple displayin karmaşıklık derecesi, kullanıcıya aktarılacak bilgilerin miktarına bağlı olmaktadır. Bu sistemlerin bazıları birçok bilgiyi vermeyi denemektedir. Bu sebeple, yalnızca en öncelikli bilgiyi belirleyecek algoritmaların kullanımı, gereksiz algılamaların ortadan kaldırılmasını sağlayabilir.

### **1.2.1. Ses tabanlı ürünler**

Sonik tabanlı devreler yağmurlu ve karlı havalarda kullanılabilen, fakat kullanımları genellikle açık havada veya bina dışında olmaktadır. Kapalı veya gürültülü yerlerde ses dalgalarının bir engelden yansımaları bozulabilmektedir. Bu gibi yerlerde, bilgilerin güvenilirliğini azaltan veya tamamen kullanılmaz hale getiren ilgisiz birçok yansıma olabilmektedir. Bununla birlikte, sonar tabanlı ürünlerde 'cross-talk' problemini çözmek ve bina içi kılavuzluğunu etkili bir şekilde yapmak için gereken eko

indirgeme algoritmaları (echo reduction algorithm) kullanılmaktadır (Guidice 2000). 'Crosstalk', bir sensörün diğer bir sensörden eko alması olayıdır; yani yansıyan sinyali değil, başka bir sensör tarafından gönderilen sinyali almasıdır. Bu problem, her bir sensör ateşlenmeden (ateşlenme, ultrasonik vericinin belirli frekansta ultrasonik dalga yayması demektir) önce değişken gecikmeler kullanılarak engellenebilir; Bu yolla EERUF (Error-Eliminating, Rapid Ultrasonic Firing), 'crosstalk'u belirleyebilir ve reddedebilir (Shoval ve ark. 2003).

Bütün sonar tabanlı engel sezme araçları, sonar vericiden yayılan ses dalgalarının gönderilmesi ve alınması arasındaki zaman farkından (Time of flight-uçuş zamanı) faydalanarak engelin uzaklığını saptamaktadırlar (Ram ve Sharf 1998, Kuc 2002). Bundan başka, sonar tabanlı araçlar engelin şeklini ve büyüklüğünü anlamak için de kullanılmaktadır. Aşağıda, şimdiye kadar araştırma konusu olmuş veya geliştirilmiş sonar tabanlı ürünler sunulmuştur.

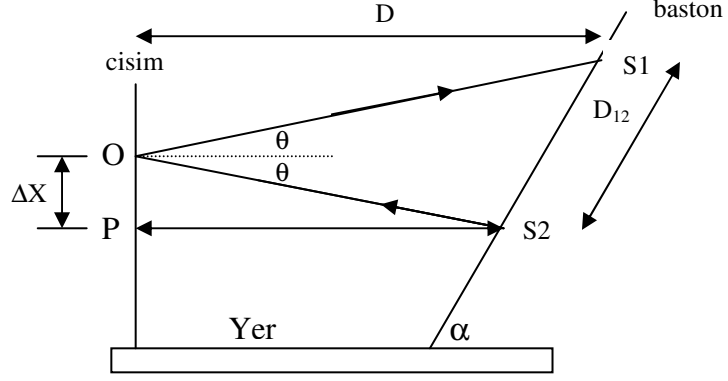
Ultrasonik dalgalar ışık ve sıcaklıktan etkilenmemekte, cam gibi saydam engelleri görebilmektedirler. Bu özellikleri ultrasonik yöntemlerin avantajıdır. Buna karşılık, ultrasonik sensörler, diğer ses kaynaklarından etkilenebilmektedir. Örneğin çalışan bir motorun ürettiği ultrasonik dalgalar, sensörlerin yaydığı dalgalarla girişim yapabilir. Bu gibi girişimleri engellemek için bazı araştırmalarda çift frekans kullanılmıştır (Cai ve Gao 2000).

Gerçek dünyada çok çeşitli engeller olmasına rağmen, engeller, noktasal, düz yüzey ve düzensiz şekil olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir (Cai ve Gao 2000). Nispeten küçük ve basit geometrileri nedeni ile birçok engel noktasal engel olarak düşünülebilir. Böyle bir nesne için bütün yansımalar engel üzerindeki aynı noktadan yansıyor gibi düşünülebilir.

Geniş, düz yüzeyli engeller için (örneğin bir duvar) farklı sinyal yansıma noktaları olabilmektedir. Bununla birlikte bu noktalar aynı cisme işaret eder ve aynı düzlemde bulunurlar (yer yüzeyine dik bir düzlem içinde). Düz yüzeyli engelde yansıma şekil 1.2'de sunulmuştur. Şekil 1.2' den  $\Delta X$  uzaklığı;

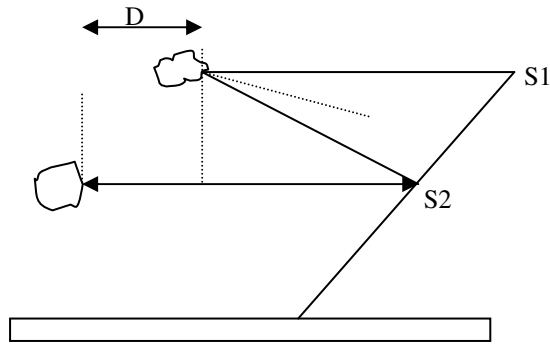
$$\Delta x = \frac{D_{12} \sin \alpha (D - D_{12} \cos \alpha)}{2D - D_{12} \cos \alpha} \quad (1.6)$$

olarak bulunur.



Şekil 1.2 Düz yüzeyle engelde yansıma (Cai ve Gao 2000)

Sinyal yansıma noktalarının dağılımı engelin bütün geometrisini belirlemek için kullanılabilir. Noktasal engel durumunun aksine, düz bir engelin yükseklik bilgisi kullanıcı yönlendirmesinde çok önemli olmamaktadır. Çünkü sonuçta bu bir engeldir. Düzensiz biçimli bir engel durumunda aynı nedenden çok sayıda yansıma olabilmektedir. Yansıma noktaları değişken ve belirsiz olabilir. Bu nedenle düzensiz biçimli bir engelin uzaklık bilgisini sağlıklı olarak elde etmek nispeten daha zor olmaktadır. Bu durum şekil 1.3’de gösterilmiştir.



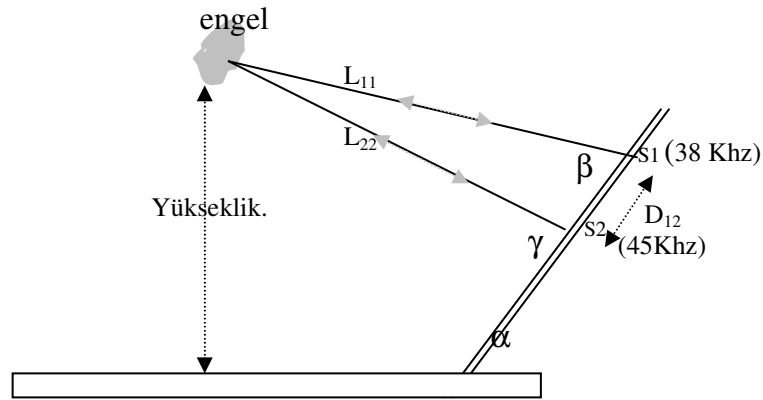
Şekil 1.3 Çok sayıda engelli durum (Cai ve Gao 2000)

Diğer ultrasonik vericilerden yayılan sinyaller ve araç motorlarından kaynaklanan ultrasonik sinyaller böyle bir sistem için gürültüdür. Bu gürültüleri elimine

etmek ve araştırmak için şimdiye kadar yoğun çabalar harcanmıştır. Çevresel gürültüler, sabit veya kesintili, genliği zayıf veya güçlü olabilir.

Çevresel gürültülerden başka, sensör dizileri arasında bir girişim de söz konusudur. Bu tür gürültüler değişken ve tahmin edilemez olduğu için, monte edilmiş (bir yere yerleştirilmiş) bir ölçme sisteminde öncelikle çeşitli gürültü kaynaklarını belirlemek ve buna dayanarak yansıyan ultrasonik dalgayı işlemek gerekmektedir. Sağlıklı bir ölçüm yapabilmek için, alınan sinyalin yararlı mı yoksa bir gürültü kaynağından mı geldiğinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Bir engelin yükseklik ve uzaklığını belirlemek için bir çift ultrasonik dedektör gerekmektedir (Cai ve Gao 2000). Bununla birlikte iki yansıyan sinyal, engelin biçim ve tipi konusunda bilgi vermemektedir. Ayrıca fazladan veri de sağlamamaktadır. Bu nedenle yanlış ölçme olasılığı vardır. Şekil 1.4’de, çift ultrasonik frekans kullanan yeni bir düzenleme önerilmektedir. Şekil 1.4’deki S1 ve S2 sensörleri hem alıcı hem verici olarak (bistatic) çalışmaktadır. Her ölçme periyodunun başında her iki sensör aynı anda ultrasonik darbe dizisi göndermektedir. Alınan her sinyalin ön kenarı ilk yansıma ile ilişkilidir. Böylece her bir sensör, engelin yeri ile ilgili bir takım bilgi sağlamaktadır. Bu veri, girişime karşı ölçümün hassasiyetini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Sonar tabanlı cihazlardan önemli görülenlerden bazıları aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 1.4 Çift frekanslı ultrasonik ölçme prensibi(Cai ve Gao 2000)

*Kaspa*: Sonar tabanlı cihazların ilk modelleri elde taşınan ‘sonik el feneri’ idi. Bu cihaz Leslie Kay tarafından 1960’larda üretilmiştir ve özel bir ultra sonic sensör taşımaktaydı. Kay’ın sonraki sonic kılavuzu başa takılan bir model olmuştur. Buna

Kaspa adı verilmiştir. Kaspa 1994'den beri kullanılmaktadır. Sonic sensör başa takılmakta ve stereo ses çıkışı da özel bir hoparlör vasıtası ile işitilmektedir.

Bazı sonar tabanlı cihazlar en yakın nesnelere sezme için yaygın bir şekilde kullanılırlar. Kaspa 3 boyutlu uzayda birçok nesneyi sezme sağlayabilmektedir. Bir nesnenin doğrultusu, sağ ve soldaki ultrasonik alıcıların yanal ilişkisi ile elde edilmektedir. Bir nesneyi tanımlama ise, geniş oval ultrasonik transduser tarafından üretilen dar merkez alanı sayesinde olmaktadır.

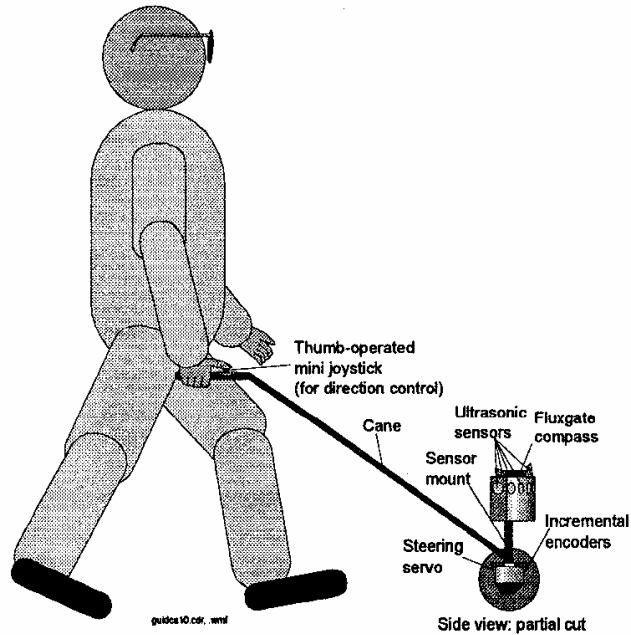
*Sonic Pathfinder:* Bir mikro bilgisayar tarafından kontrol edilen ve başa takılan darbe yansımali (pulse-echo) bir sonar sistemdir. Bu ürün Avustralya'da Tony Heyes tarafından geliştirilen sonar tabanlı bir cihazdır. Bu cihaz açık alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve kullanıcının yolu üzerinde bulunan engelleri bildiren basit bir gösterge taşır. Kaspa'nın tersine Sonic Pathfinder, kullanıcıya görsel dünyanın sonic bir resmini vermektense daha çok, hareket halindeki kişiye yalnızca acil olarak gerekli bilgileri vermeyi amaçlamaktadır. İşitsel gösterge, kullanıcı bir nesneye yaklaşırken, alışılmış tonda bir dizi ses üretmektedir. Ses tonlarının sıklığı kullanıcının yürüme hızı tarafından belirlenmektedir. Ses tonu, adıma bağlı olarak otomatik olarak değişmekte ve kişinin sonraki 2 saniye içinde karşılaşacağı engellerle ilgili bilgi vermektedir. Bu sistemin, gerçek zamanlı çalışabildiği için cazip olduğu düşünülmektedir (Guidice 2000).

Sonic Pathfinder, başa takılan 5 adet ultrasonik transduser ve 3 tane alıcı taşımaktadır. Bu sensörler sağa, sola ve öne doğru yönelmişlerdir. Bunlardan başka ultrasonik enerji ile kişinin yolunu kontrol etmek için yönelmiş 2 tane daha yayıcı (transmitter) bulunmaktadır. Yol üzerinde bulunan nesnelere yansıyan ses dalgaları 3 alıcı tarafından alınmakta ve bu bilgiler bilgisayar tarafından işlenmektedir. Cihazın çıkışı, engelin sağda, solda, önde olmasına bağlı olarak iki kulaklıktan birini beslemektedir. Eğer engel tam önde ise iki kulaklığa da ses çıkışı gönderilmektedir (Guidice 2000).

*Kılavuz Baston:* Bu cihaz, mobil robot teknolojisinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Geniş açılı ultrasonik dedektör tarafından bir engel fark edilirse sistem, kullanıcı için uygun bir doğrultu belirlemektedir. Bu durumda 'Kılavuz Baston'

kullanıcıyı tutma yerinde hissedilen bir kuvvetle yönlendirmektedir (Guidice 2000). *Kılavuz Baston* 120 derecelik bir açıyı tarayan 10 ultrasonik sensör ve doğrultuyu belirlemek için bir sistem içermektedir. Kullanıcı, cihazın sağa sola hareket ettiğini hisseder ve onu takip eder. Bir kere engel sezildi mi cihaz başlangıçtaki yola döner. *Kılavuz Baston* yakın çevrenin yerel 2 boyutlu haritasını çıkarmak için sensör verilerinden elde ettiği (Histogramic in motion Mapping-HIM)'i kullanmaktadır. Cihaz çevreyi analiz eder, en uygun doğrultuyu hesaplar ve hareketi otomatik olarak başlatır.

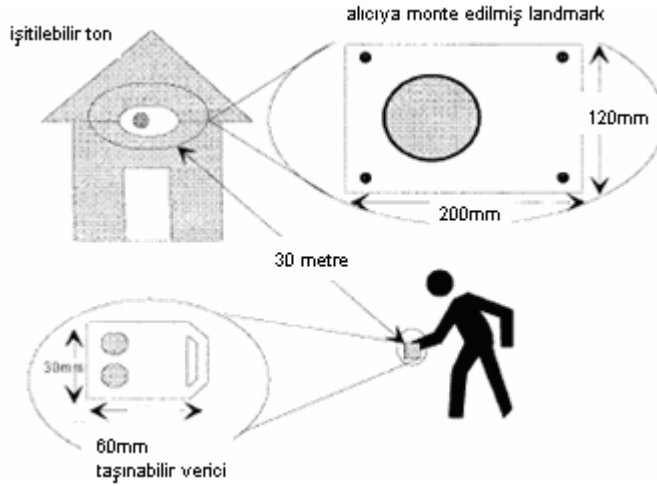
*GuideCane*: GÖ için yapılmış, ultrasonik yöntemle engel belirleyen bir araçtır (Ulrich ve Borenstein 2001). Bu araç iki tekerlekli ve bir ucundan GÖ tutmaktadır (şekil 1.5). Cihaza bağlı 10 ultrasonik sensör bulunmaktadır. *GuideCane*'in her iki tekerleğinde nispi pozisyonu algılayan kodlayıcılar (encoder) bulunmaktadır. Cihaz üzerindeki bir bilgisayar tarafından kontrol edilen bir servomotor sağ ve sol tekerlekleri cihaza göre döndürebilir, yani engel tespit edildiğinde aracın tekerlekleri engel çevresinden dolaşacak şekilde dönmektedir (şekil 1.5). Cihazın tutma yerine yerleştirilen bir joystick GÖ'nün hareket yönünü belirlemesini sağlamaktadır.



Şekil 1.5 Guide Cane'in işlevsel bileşenleri (Ulrich ve Borenstein 2001)

*Sound Buoy*: (Blenkhorn ve Evans 1997) bir yol göstericidir. Bir ultrasonik verici, belirli bir noktaya (dönüm noktası) sabitlenmiştir (şekil 1.6). GÖ'nün taşıdığı bir-iki butonlu küçük bir el radyo vericisinin butonuna basıldığı zaman ultrasonik verici

çok kısa süreli ve yüksek frekanslı sesler yaymaktadır. Vericideki diğer butona basıldığında ise dönüm noktası üzerindeki verici bir ses sinyali yayar. Verici sinyalini göndermek için genlik modülasyonu kullanmaktadır. Verici yaygın kullanılan bir arabanın merkezi kilit devresidir. Gönderici mesafesi max. 30 m civarındadır.



Şekil 1.6 Sound Buoy sistemi (Blenkhorn ve Evans 1997)

*Ultrasonic signpost system:* GÖ için yapılan, ‘Sound buoy’a benzer ultrasonic bir yol göstericidir (Koshi ve ark. 1992). Bu sistem küçük bir ultrasonik alıcı ve vericiden (beacon) oluşmaktadır (şekil 1.7). Verici bir işaret noktası (dönüm noktası) yakınına ya da üzerine monte edilmekte, alıcı ise GÖ tarafından taşınmaktadır. GÖ dönüm noktasına yaklaşırken verici aktif hale gelir ve frekansının uygun bir ses mesajı ile modüle edildiği ultrasonik bir dalga yayar (Koshi ve ark. 1992). GÖ elindeki alıcı tarafından bu frekans modülasyonlu ses sinyali demodüle edilir ve bir hoparlör ile GÖ’ye iletilir.





Şekil 1.7 Ultrasonik signpost sistem (Koshi ve ark. 1992)

### 1.2.2. Görsel tabanlı cihazlar

Bu sınıfa giren sistem veya cihazlar, kamera, lazer, veya diğer optik cihazlar vasıtası ile çevreden görsel bilgiyi almakta ve bu bilgiyi işitsel veya dokunsal bilgiye dönüştürmektedir. Bunların önemli görülenleri aşağıda sunulmaktadır.

*Talking Cane:* Küçük bir lazer ünitesidir. Cihaz bir optik radar gibi çalışmaktadır. Cihaz çevreye ışık yaymakta ve çevreden gelen yansımaları, entegre edilmiş bir alıcı vasıtası ile algılamaktadır. Kılavuz köpek veya baston vasıtası ile algılanamayacak engellerden gelen yansımaları toplayan bir alıcı ve lazer verici içermektedir. Ayrıca alıcı; duvara, kapıya, otobüs durağı gibi yerlere özel olarak yerleştirilmiş nesnelere yansıyan sinyalleri de alabilmektedir. Bu işaretler özel bilgiler içeren barkod taşırlar ve 10-15 metre uzaktan algılanabilirler (Long ve Fazenbaker 1992, Löfving 2003). Lazer bu gibi barkodlara çarptığında cihaz 'beep' sesi vermektedir. Göllerken bir beep sesi algıladığında, bu ses işaretin yerini bildirmekte ve/veya yol boyundaki kontrol noktalarını gösteren işitsel işaretler olarak algılanmaktadır. Şu andaki sistem ayrıca 16 belirli etikete izin veren farklı barkodları kullanmaktadır. Cihaz barkodları tanımakta ve bir konuşma mesajı olarak işaretleri tanımlamaktadır. 16 konuşma mesajı 0-9 arası rakamlar ile kapı, asansör, banyo vb. gibi kelimeler içerir. Talking Cane GPS tabanlı bir sistemle kıyaslanırsa, GPS tabanlı bir sistem kişinin yerini bildirirken, Talking Cane, daha çok kontrol noktalarını tespit için kullanılmaktadır.

*The vOICE Video sonification software:* Bu program video görüntülerini seslere dönüştürmektedir. Bu sistem görüntüyü sese dönüştüren en gelişmiş sistemdir ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu sistemde, kamera tarafından yakalanan görüntüler 3 boyutlu işitsel bilgilere dönüştürülmektedir. Siyah–beyaz kamera görüntüsünün ses haritasını çıkarma işlemi aşağıdaki şekilde 2 basamakta yapılır:

- Görüntü soldan sağa doğru taranarak seslendirilir. Genellikle saniyede bir resim taranmaktadır. Aynı şekilde soldan (L) sağa (R) doğru bir stereo ses işitilir.
- Her tarama sırasında, perde yükselti anlamına gelir: perde ne kadar yüksek olursa, görsel izin (patern) yükseltisi de o kadar fazla olur (Long ve Fazenbaker 1992).

Sessizlik ışık yok (karanlık) anlamındadır. Bir nesne ne kadar aydınlık olursa ses de o derece yüksek olmaktadır. Sonuç olarak sessizlik siyah, yüksek ses beyaz, bu ikisi arasında kalan ses tonu da grinin tonları anlamına gelmektedir. Bu cihazın özelliği, internet üzerindeki resim ve ikonları keşfetmek için masaüstü bir bilgisayardan kullanılabilmesidir. Ayrıca GÖ'nün genellikle ulaşmakta zorluk çektiği uzak hedeflerle ilgili bilgi sağlamakta kullanılabilir. Hem açık hem de kapalı alanda, başa takılan bir PC kamerası ve bununla bağlantılı vOICE kurulu bir bilgisayar, bir nesnenin uzaklığını, yönünü, yükseltisini, büyüklüğünü ve görsel perspektifini belirlemekte kullanılabilir.

VOICE bir elektronik fotoğrafı 64 satır ve 64 sütuna bölerek (4096 piksel) çalışmaktadır. Burada grinin 16 tonu kullanılır. Resmin sütunları teker teker sese dönüştürülür. Bir sütunun en üstündeki piksele en yüksek ve en altındaki piksele de en alçak ton verilir. Gri seviyesi sessizlik ile ifade edilmektedir. Tek bir sütundaki bütün pikseller eşzamanlı olarak duyulur. Bu şekilde resmin içeriği, bütün kolonlar (64) soldan sağa doğru taranarak sese dönüştürülmüş olmaktadır. Son olarak bir klik sesi yeni sayfanın başını belirlemektedir (Long ve Fazenbaker 1992).

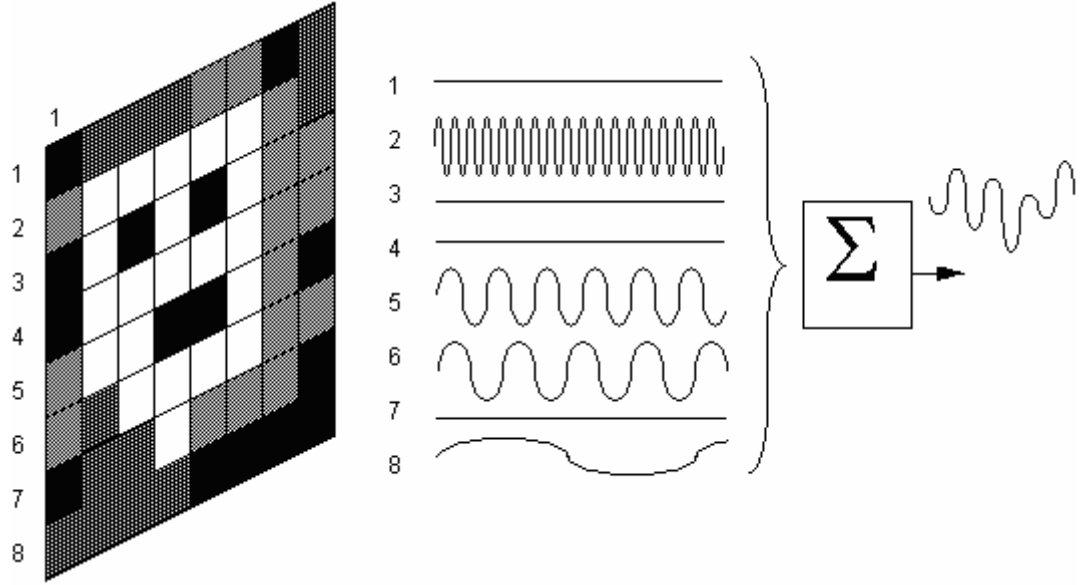
Görüntünün sese dönüştürülme fikri ilginçtir, ancak bazı bilim adamları bunun anlamlı bir ses dönüşümü olmayacağını düşünmektedirler. Çünkü çevre bilgisi çok fazladır. Görüntü bu bilginin tamamını taşıdığına, bunun GÖ tarafından nasıl yorumlanacağı büyük bir problem olarak görülmektedir. Kullanıcının bundan verim alabilmesi için bu şekilde tanımlanan işitsel haritaları anlamak için öğrenmesi gerekir.

Bu ürün geliştirilirken, vOICe'ye benzeyen ve aynı ilkelere dayanan iki proje daha geliştirilmiştir. Bu projelerin her birisi, çevrenin görselliği ile ilgili bilgi vermek için farklı akustik sinyaller kullanmaktaydılar. Geliştirilen sistemlerden biri 'Vuphonics sistem' bir diğeri de 'Optophone Projesi'dir.

*Vuphonics sistem:* Bu sistem bir resmin tamamını dönüştürmek yerine, sadece önemli özelliklerini sese dönüştürmektedir. Sistem bir resmin hem işitsel hem de dokunsal çıktısını verir. Kullanıcılar istedikleri çıkışı seçebilir, isterlerse her ikisini de seçebilirler. Bu şekilde daha az bilgi ile çalışmak daha az yorucu olabilir (Long ve Fazenbaker 1992). Bu sistem bir resimdeki şekilleri tanımlamak için doğal dil kelimeleri kullanan geçmişteki araştırmalara dayanmakta ve fonemik çiftler içeren kodlanmış bir format kullanmaktadır.

*Optophone Projesi:* Görüntüyü sese dönüştürmekte kullanılan diğeri bir girişimdir. Bu sistem 'Kartezyen Piyano Transform' diye bilinen müzik notalarını kullanır. Bu kuramsal sistem ışığın işitsel haritaya nasıl dönüştürüleceğini araştırmaktadır. Bu sistem resimleri çevresel bileşenlere ayırmaktadır. Birçok kamera kullanarak daha yakın nesnelere daha yoğun seslerle ifade eden bir stereo harita oluşturulabilir (Long ve Fazenbaker 1992).

Modern Optophone, bir video kameradan doğrudan doğruya bir resmi tarar. Resim sayısal bilgiye çevrilir yani bir dizi piksel içerir. Resim bundan sonra ince düşey şeritlere bölünür. Şeritlerin en üstünde bulunan pikseller için yüksek frekanslı, en altındakiler için düşük frekanslı müzik notaları üretilir (şekil 1.8). İnsan işitme sistemi doğal olarak yüksek frekanslı sesleri düşey olarak daha yüksek bir konum ile ilişkilendirmektedir (çağrıştırır). Üretilen seslerin genliği, video kamera tarafından yakalanan ışık yoğunluğu ile orantılı olmaktadır (Capp ve Picton 2000).

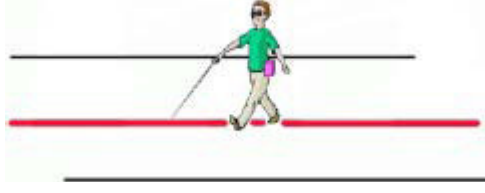


Şekil 1.8 Optophon'un çalışma ilkesi (Capp ve Picton 2000)

*Lazer Baston* (Lazer cane): Görünmez lazer ışığı yayan ve kullanıcıyı bir engelle karşı titreme veya bir sesle uyarın küçük bir bastondur. Bir yarı iletkenli lazer ve bir 'konum duyarlı devre' (Position sensitive device) içermektedir. Uzaktaki bir engel 3 ayrı frekanslı titreşmeyle belirtilir.

*Videotact*: Bu cihaz görüntüyü deri üzerinde hissedilebilen titreşimlere dönüştüren kamera tabanlı bir cihazdır. Bu konudaki araştırmalar navigasyon bilgisinin yanında, ulaşılabilir bilgisayar tabanlı grafik yapma üzerine odaklanmıştır. Cihaz, bilgiyi bir kamera veya monitörden alır ve yön bilgisini, deri üzerinde hissedilecek şekilde, titreşimlerle gösterir. Araştırmacılar mümkün olan en yüksek dokunsal çözünürlük sağlayan bir cihaz üzerinde çalışmaktadır.

Görsel tabanlı diğer bir sistem (Harada ve ark. 2004) GÖ'nün iç mekânlarda (indoor) navigasyonu için tasarlanmıştır. Bu cihaz yere çizilmiş olan renkli çizgileri takip ederek, GÖ'ye yol göstermekte ve titreşim ile GÖ'nün yol içinde kalmasını sağlamaktadır. Bu sistem yoldaki (koridordaki) renkli çizgileri optik sensör (renk sensörü) ile tanımaktadır. Renk sensörü 3 foto transistörden oluşur. Bu foto transistorler, giriş rengini kırmızı, yeşil ve maviye ayırabilmektedir. Böylece yerdeki yeşil ve kırmızı çizgiler takip edilebilmektedir (şekil 1.9).



Şekil 1.9 Navigasyon sisteminin çalışma ilkesi (Harada ve ark. 2004)

### 1.2.3. Kızılötesi tabanlı cihazlar

Talking Signs, ‘Smith-Kettlewell Eye Research Institute’ (San Francisco, California) tarafından geliştirilmiştir. Sistem, kalıcı olarak bir yere monte edilmiş vericiler tarafından yayılan kızılötesi ışık demeti ile gönderilen kısa periyotlu (yüksek frekanslı) ses sinyalleri içermektedir (Crandall ve ark. 2001, Long ve Fazenbaker 1992). Elde taşınan bir alıcı, bu sinyalleri çözer ve hoparlöre ses mesajlarını gönderir. Sinyaller doğrusaldır ve ışık demetinin mesafesi ve genişliği ayarlanabilmektedir. Sistem iç ve dış uygulamalarda etkili bir şekilde çalışmaktadır. Talking Signs, yol kılavuzluğunun ve köşetaşı (Dönüm noktası) tanınmanın gerekli olduğu her yerde kullanılabilir. Talking Signs sisteminde kullanıcı, elde taşınabilen bir alıcı ile çevresini tarar; örneğin tarama sırasında kullanıcı ‘danışma’, ‘genel telefon’, ‘2. kata çıkan merdiven’ vb. mesajlar duyabilir. Kullanıcı göndericiye işaret verdiği sürece mesajlar tekrar edilir (Crandall ve ark. 2001, Long ve Fazenbaker 1992).

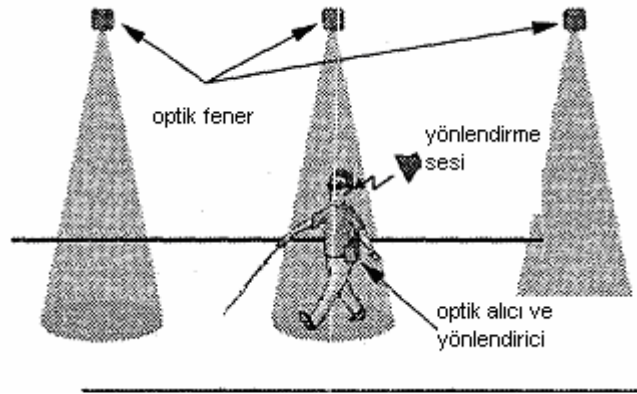
Talking Signs gönderici ve alıcı olmak üzere iki elemandan oluşmaktadır. Gönderici sürekli olarak kızılötesi ışık yaymaktadır (şekil 1.11). Bu ışık demeti alıcıya ulaştığında (1830 metre uzaklığa kadar olan mesafede ışık demetini kestiğinde) GÖ bir mesaj ışıtır. Ses mesajları göndericideki bir bellekte depo edilmektedir. İşitilebilir mesajlar 25 KHz’de 950 nm dalga boylu kızılötesi ışın demeti üzerinde modüle edilmekte ve bir led üzerinden yayılmaktadır (şekil 1.11). Elde taşınan alıcı, ışın demetinde modüle edilen mesajları demodüle eder ve böylelikle kullanıcı bu mesajları, alıcıdaki bir hoparlör vasıtası ile duyabilir (şekil 1.12).

Talking Sign’ in asıl hedefi, görme özürlülerin bir yerden başka bir yere gitmek için otobüs duraklarını tanımalarını, bir araçtan diğerine geçebilmelerini, yaya geçitlerinden emniyetli bir şekilde geçebilmelerini, alışverişlerini yapabilmelerini ve tekrar evlerine güvenli bir şekilde, paniğe kapılmadan, kaybolmadan dönebilmelerini

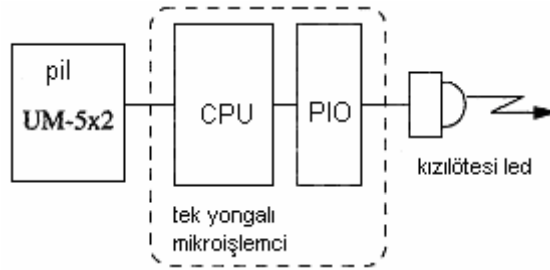
sağlamaktır. Sistem, halka açık büyük yerlerde bağımsız ve güvenli bir gezintiyi desteklemektedir. Bu alanlar örneğin terminaler, resmi yerler, kurumsal binalar, toplantı salonları, sağlıkla ilgili kuruluşlar, eğlence yerleri, finansal kurumlar, perakende satış yapılan vb. yerlerdir. Bu teknoloji kullanılarak şehirdeki belediye otobüslerinin üzerine de kızılötesi vericiler yerleştirilmiştir. Böylece görme özürlüler, yaklaşan bir otobüsün hangi güzergaha gittiğini anlayabilmektedir (Crandall ve ark. 2001). Bu sistemin birkaç yönden kullanışsız olduğu ve dezavantajlara sahip olduğu düşünülmektedir. Bunun en önemli sebepleri arasında çok masraflı olması, bakımının zor olması yatmaktadır. Örneğin burada her evin kapı numarası cihazın belleğine depolanamaz.

Talking Signs sinyalleri yol bulmada kılavuzluk eden bilgileri sağlarken, kızılötesi ışın demeti doğrusal olduğu için, ayrıca geçici bir nesne veya başka bir insan tarafından bu ışınların yolu kesilebilir. Kızılötesi haberleşmenin tersine, RF sinyalleri her yöne yayıldığı için, RF haberleşmeye dayalı bir sistemde bu problem yaşanmamaktadır. Bununla birlikte RF sistemler daha küçük bir ölçeğe sahiptir ve sinyalin doğrultusu (kaynağın yeri) bilinemediği için de ek bir bilgi sağlanamamaktadır. Diğer taraftan kızılötesi veya RF tabanlı devreler harici vericilerin kurulmasında gereklidir.

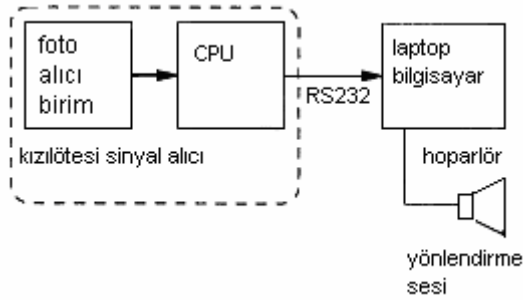
Talking Signs kapalı alanlar (indoor) için tasarlanmış optik bir yol göstericidir (Magatani ve ark. 2001). Bu sistem tavana yerleştirilmiş optik yol göstericilerden (beacon) oluşmaktadır (şekil 1.10). Bu optik vericiler pozisyon kodunu kızılötesi sinyal olarak yaymaktadırlar. GÖ tarafından taşınan bir optik alıcı, bu vericilerden yayılan optik sinyali alır ve yapay ses olarak GÖ'ye verir.



Şekil 1.10 Optik yol göstericiler kullanan navigasyon sisteminin ilkesi (Magatani ve ark. 2001)



Şekil 1.11 Bir optik yol göstericinin blok diyagramı (Magatani ve ark. 2001)



Şekil 1.12 Optik alıcının ve yönlendiricinin blok diyagramı (Magatani ve ark. 2001)

#### 1.2.4. GPS tabanlı sistemler

Yukarıda bahsedilen araçlardan hiçbirisi yaygın şekilde kabul görmemiştir. Bunun sebebinin, bu araçların çevre ile ilgili yeterli bilgi sağlamaması olduğu düşünülmektedir. Literatürde baskın olan görüşe göre, bu araçlar yeterli seyir bilgileri sağlamamaktadırlar. Örneğin nerede bulunduğu, nereden geldiği, hedefe nasıl gidileceği gibi sorulara cevap verememektedirler.

Son 10 yıldır GÖ'ye yönelik yardım amaçlı yapılan çalışmalar (EYY-Elektronik Yol Yardımı) seyir (navigation) üzerinde yoğunlaşmaktadır. GÖ bir yerden başka bir yere kendi başına gidebilmek için, yolu üzerindeki engellerden korunmanın yanında, belli bir anda bulunduğu yeri ve bu yerin belirli yerlerle ilişkisini (mekan ilişkisini) de bilmelidir. Bu amaçla, öncelikle yolcunun yer (konum) bilgisine ihtiyaç duyduğu düşünülmektedir. Bu bilgi ise, günümüzde, en hassas şekilde GPS ile sağlanabilmektedir.

GÖ navigasyonuna yardımcı olması için GPS'in kullanılması fikri 10 yıldan daha öncesine dayanmaktadır. Bu amaçla GPS ilk 1989 da Strauss ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır. O zamanki hassasiyetin yetersiz olması, o zaman için GPS'in bu alanda pratik olarak kullanılmasını engellemiştir (Loomis ve Golledge 2001).

Şimdiye kadar GPS tabanlı araştırmalar içinde en önemlileri, 'Sendero Group' firmasının üzerinde uzun zamandır çalıştığı 'GPS-Talk', 'MoBIC'- (Mobility Of Blind and Elderly People Interacting with Computers), 'Kişisel Kılavuz Sistemi', 'Electronic Guide Dog' projeleridir. Bu sistemlerin ortak özelliği, yer belirleme için bir GPS (bazen DGPS ile desteklenmiş olan), bir coğrafi bilgi sistemi (GIS) ve bu bilgilere istenildiği zaman ulaşılmasını sağlayan bir veritabanı ve program ile koordinasyonu sağlayan bir bilgisayar içermeleridir. Yolcu bütün bu donanımı yanında bulundurmaktadır. Ayrıca, bu sistemlerde, yolcunun sistemle etkileşimini sağlayan bir kullanıcı arabirimi de bulunmaktadır. Kullanıcıya ulaştırılacak mesajlar, bu arabirim tarafından genellikle sentetik sesler halinde sunulmaktadır.

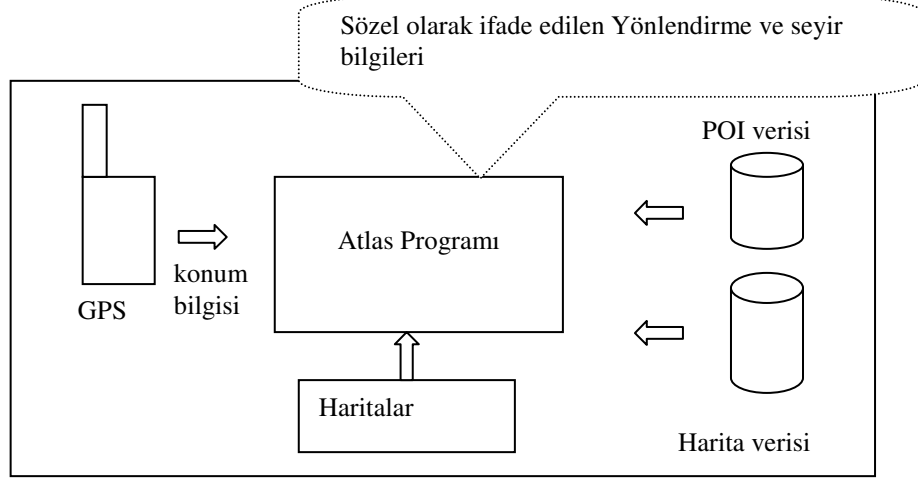
GPS-PC tabanlı bir sistem olan ve Sendero Group tarafından geliştirilen 'GPS-Talk' sistemi (şekil 1.13) şu ünite ve verileri kullanır: Özel bir program olan 'Atlas', POI (Point of Interest -varılacak hedef) verisi, digital harita verisi ve GPS. Kullanıcı yolculuğa başlamadan önce, bir yolculuk planı yapabilmekte ve GÖ, yolculuk sırasında, konuşan atlas programı tarafından yönlendirilmektedir. Bu sistemin GÖ için sağladığı avantajlar;

- Otomatik olarak sağlanan konuşmalı yönlendirme sistemi
- Point of Interest (dikkate alınan, ulaşılacak nihai veya ara hedef), kesişme alanları, ön, arka, sağ, sol çevre bilgileri



- Güncel harita verisi ve POI verisi

olarak sıralanabilir (The Sendero Group 1997)



Şekil 1.13 Sendero Group tarafından geliştirilen GPS-TALK sistemi (The Sendero Group 1997)

Sendero Group tarafından geliştirilen GPS-Talk sisteminin dezavantajları;

- Bir bilgisayar taşımayı gerektirir
- POI veritabanı ve harita bilgileri en son duruma göre güncellenmesi gerekir
- Kullanıcı izlenemez. Örneğin kullanıcının yardıma ihtiyacı olsa yakınları yardım edemez.

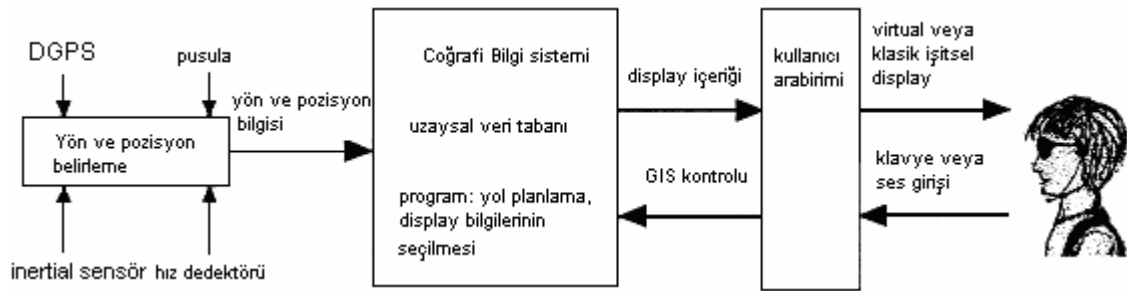
şeklinde yazılabilir

GPS-TALK ile kullanıcı,

- Yönünü,
- Hedefe uzaklığını,
- Bir dönüş noktasına olan uzaklığını,
- En yakın POI'yi
- Hızını
- GPS pozisyonuna en yakın adresi

belirleyebilmektedir.

Bunlardan başka, yer koordinatlarını, kullanıcı kimliğini ve bazı bilgileri bir merkeze göndermek için, bir GSM telefonu kullanan sistemler de vardır. Bu sistemlerde ayrıca, bu bilgilerin gönderildiği, değerlendirildiği ve tekrar yolcuya bazı bilgilerin gönderildiği bir merkez de bulunmaktadır. Bu merkezde ya bir operatör veya onun görevini üstlenecek bir ana bilgisayar bulunmaktadır.



Şekil 1.14 GÖ için tasarlanmış 'Kişisel Kılavuz Sisteminin' temel bileşenleri (Loomis ve ark. 1998)

GPS-PC tabanlı bir sistem olan 'Kişisel Kılavuz Sisteminin' yapısında 3 temel bileşen bulunmaktadır (şekil 1.14);

1-Yolcunun uzayda pozisyonunu (konumunu) ve yönünü belirleyen modül veya modüller: Bu mdüller, DR (Dead Reckoning), INS (Inertial Navigation) ve GPS'in bir kombinasyonu olabilmektedir.

2-GIS (Geographic Information System): Test bölgesinin ayrıntılı bir veritabanını, yol planlaması ve veritabanından bilgi elde etmek için bir program içermektedir.

3-Kullanıcı arabirimi (user interface): sistemden çevre hakkında veya yol durumu hakkında bilgi istemek ve kullanıcı tercihlerini sisteme bildirmek için kullanılmaktadır. Yolcu rotasından çıktığında onu uyarır. Bu uyarı sesle olabildiği gibi titreşimle de olabilmektedir.

GPS tabanlı sistemlerde yer belirleme için GPS'e ilaveten bir de yolcunun hız veya ivme bilgisinin kullanıldığı ikinci bir yer belirleme sistemi (Hız tabanlı veya ivme

tabanlı) kullanılabilir. Bu yedek yer belirleme sistemi, GPS sinyallerinin alınmadığı (ormanlık bölgelerde, kapalı alanlarda veya yüksek binalar arasında) yerlerde veya GPS sinyallerinin yansıma hataları dolayısı ile pozisyon belirlemede hatalara neden olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu ilave sistem, maliyeti ve daha da önemlisi sistemin karmaşıklığını arttırmasına rağmen, bazen gerekli görülmektedir. Çünkü bu sistemlerde, pozisyonun hatasız belirlenmesi çok önemlidir. Fakat bununla birlikte çevrenin fiziksel özelliklerinden faydalanılması da düşünülebilir. GPS sinyallerinin alınmadığı ara sokak gibi yerlerde GÖ, en son GPS sinyalini aldığı yeri referans alarak, hedefe yönelmeyi güvenli bir şekilde devam ettirebilmek için bulunduğu yeri büyük ölçüde tahmin edebilir. Hedefe yönelmeyi sürdürebilmek için kullanılacak bazı stratejiler şunlardır (Anonim 1999);

1- Yürüyüş mesafesini tahmin etmek (Judging distance walked )

2- Çevrenin düzeni (Environmental regularity); örneğin koridor planları, sokak isimleri, adresler, numaralama sistemi hemen her yerde aynı veya benzerdir.

*GPS/DGPS (Diferensiyel GPS):* Son zamanlarda, GPS'deki diğer gelişmeler ile birlikte, tek frekanslı bir GPS alıcısı için hassasiyet 6 m'ye kadar yaklaştırılabilmiştir (DGPS olmadan) (Anonim 1999). DGPS kullanıldığında ise, bu hassasiyet 1 metreden az olabilmektedir. DGPS kullanmanın getireceği extra bir donanım ise, en fazla 20 km yarıçaplı bir alana hitap edebilen bir baz istasyonu ve yolcunun üzerinde taşıyacağı bir alıcıdır. Yeterli sayıda kullanıcı olması durumunda bu ekonomik olabilir.

Yakın bir gelecekte GPS ve GLONASS (Rus uydu sistemi) ve diğer uydu sistemlerinin birleştirilmesi ve bir GPS alıcısının her uydudan veri alıp işlemesi beklenmektedir. 1996 ocak'ta GLONASS, geçerli mesajlar gönderen 24 uydulla tam olarak faaliyete geçmiştir. Böylece GPS ve GLONASS alıcılarının birleşmesinin yolu açılmış olmaktadır. Alıcı yeteneği ve 24 uydu yerine 48 uydu kullanılması (24 GPS +24 GLONASS), kara, hava, deniz tabanlı uygulamalar gibi geniş bir alanda uygulama imkanını sağlayabilir. GPS ve GLONASS'ın birlikte kullanılması bir GPS alıcısının kullanımında şu avantajları sağlayacaktır (Anonim 1999);

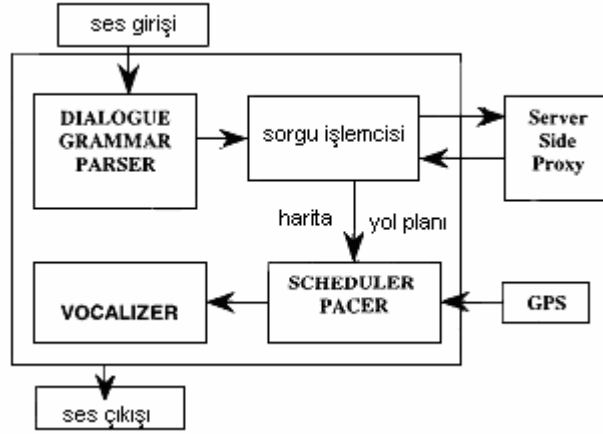
- Kanyonlar, yüksek binalar, dağlar vs gibi normalde GPS yayınlarının alınmadığı yerlerde yayınların alınması kolaylaştırır.
- DGPS kullanılmadan iyi bir hassasiyet sağlanır.
- Yüksek enlemleri kapsama
- Sistem güvenilirliğinin artması
- İyonosferik gecikme etkilerinin azaltılması

DGPS düzeltmeleri, kısa dalga radyo yayını veya daha geniş alanlı uygulamalar için uydu haberleşmesi şeklinde olabilir. Bununla birlikte sivil uygulamalar için bu pahalı yol çok pratik görülmemektedir. İngiltere, Fransa gibi bazı ülkeler ticari veya hükümet haberleşme hizmetleri sağlamaktadırlar (uzun veya orta dalga radyo yayını). Daha yakın bir zaman önce ise, ulusal FM radyo yayını kodlayan 'Radyo Data Sistem-(RDS)' bazı ülkeler tarafından hizmete sokulmuştur. Ayrıca cep telefonları da bu amaçla kullanılabilir.

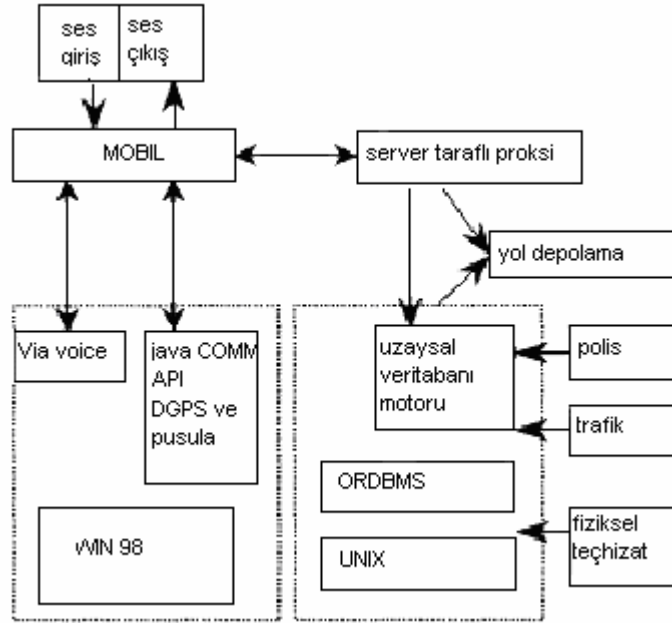
DGPS düzeltmelerini almakta GSM kullanmanın oldukça güvenli olduğu kanıtlanmıştır. İngiltere'de DGPS düzeltme yayınları Focus FM ve ulusal radyo istasyonu 'Classic FM' tarafından RDS kullanılarak yapılmaktadır. Benzer DGPS düzeltmeleri Fransa, İsveç ve Almanya'da da RDS kullanılarak yapılmaktadır (Anonim 1997).

Drishti (Helal ve ark. 2001) GPS tabanlı, çeşitli teknolojiler ile bütünleştirilmiş GÖ'ye yönelik olarak geliştirilmiş bir navigasyon sistemidir (şekil 1.15, şekil 1.16). Bu sistem taşınabilir bir PC, kablosuz ağ, GIS ve GPS içermekte ve ses tanıma ve sentezleme yeteneği ile donatılmıştır (şekil 1.15). GÖ ve sistem dinamik olarak etkileşimlidir. Ana bilgisayar (server), hareketli olan GÖ'den gelen istekleri yönetmektedir. Ses girişi, sistem ve GÖ arasındaki iletişim için kullanılmaktadır. Bu diyalog, kural grameri ile dikkatlice kontrol edilmektedir. Metin-ses dönüşümü 'Via Voice' ile sağlanmaktadır. Sisteme eklenen başka bir giriş cihazı da DGPS'dir. DGPS çıkışındaki enlem ve boylam bilgileri birer saniye aralıklarla üretilmekte ve bu koordinat değerleri seri port ile PC'ye aktarılmaktadır. GPS bilgisi kaybolduğu zaman, pozisyon belirlemede DR tekniği kullanılmaktadır. Sistem, kullanıcı tercihlerine, yol

çalışmalarına, trafik durumuna göre, optimum yolu belirleyebilmektedir. Yol boyunca çevre durumu ve önemli nokta bilgileri veritabanından sağlanmaktadır.



Şekil 1.15 Drishti'de taşınabilir bileşenler ile etkileşim durumu (Helal ve ark. 2001)

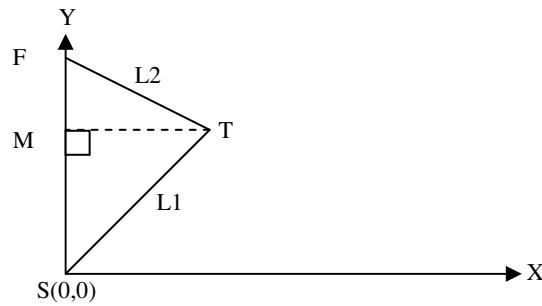


Şekil 1.16 'Drishti'nin Clint/proxy server yapısı (Helal ve ark. 2001)

(Şekil 1.17)'deki ultrasonik pozisyon belirleme sistemi, 'Drishti'nin biraz geliştirilmiş halidir. Bu sistem hem iç hem de dış mekanlarda kullanılabilme özelliğine sahiptir. Sözel bir komutla iç ve dış mekan kullanımı seçilebilmektedir. Sistemin en önemli özelliği iç mekanlarda ultrasonik bir pozisyon belirleme sistemi kullanmasıdır. İç mekanlardaki pozisyon hassasiyeti 22 cm kadardır. Bu sistem donanım olarak

taşınabilir bir bilgisayar, DGPS alıcı, kablosuz ağ ve ultrasonik konum belirleyiciden oluşmaktadır. Program ise uzaysal veritabanı, yol depolayıcı (route store), harita sunucusu (map server), 'IBM via voice' ve iç mekan pozisyon belirleme hizmetlerinden oluşmaktadır.

İç mekanlarda pozisyon belirleyebilmek için 'akıllı ev'in tavanındaki 4 köşeye 4 pilot ve kullanıcının omuzlarının üstüne bağlanan yer gösterici (beacon) yerleştirilmiştir Şekil 1.17'de T kullanıcı omzundaki yer göstericidir. F ve S ise, ev içindeki iki pilottur. Burada F, T'ye en yakın pilottur. Kullanıcının koordinatları (TS ve TM) basit bir algoritma ile elde edilebilmektedir (şekil 1.17). Her yol gösterici için, bir sonraki en yakın uzaklık seçilmektedir. Böylece yol göstericiye en yakın ve ondan sonraki en yakın pilot belirlenmiş olur. Algoritma birçok yansıma hatalarını da elimine etmektedir.

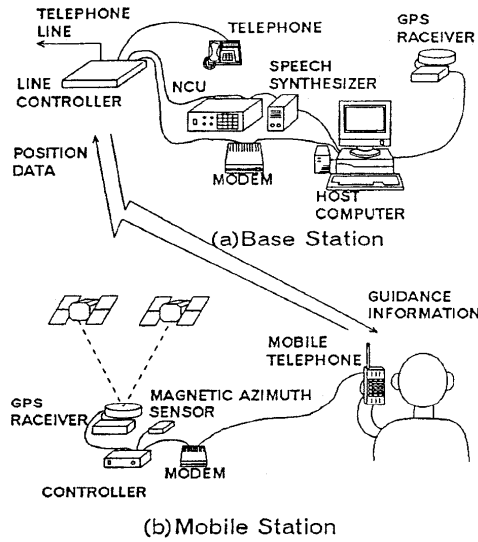


Şekil 1.17 Drishti'de akıllı ev içinde ultrasonik pozisyon belirleme algoritması (Ran ve ark. 2004)

GÖ için tasarlanmış GPS tabanlı diğer bir kılavuz sistemi (Golledge ve ark. 1998) temel olarak 3 bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler, pozisyon ve yön belirleyen birim, GIS, ve kullanıcı arabirimi. Yön belirlemek için DGPS ve elektronik pusuladır. Bu sistemde kullanıcı (GÖ), sisteme sesle veya klavyeden bilgi girebilmektedir.

GÖ'ye yönelik GPS tabanlı başka bir yol yardım sisteminin (Makino ve ark. 1996) en büyük avantajı sırtta taşınması gereken bir PC'ye ihtiyaç duymamasıdır. Sistem temel olarak 2 bileşene ayrılabilir. İlki GÖ için taşınabilir olan kısım diğeri, GÖ'nün pozisyon bilgisini bir telefon hattı vasıtası ile aldıktan sonra coğrafi bilgi verisini hazırlayan bir baz istasyonudur (şekil 1.18). Mobil istasyon, GPS, modem, taşınabilir telefon ve kontrol ediciden oluşmaktadır. Kontrol edicide baz istasyonun telefon numarası bulunduğu için, mobil telefon otomatik olarak üniteyi baz istasyona

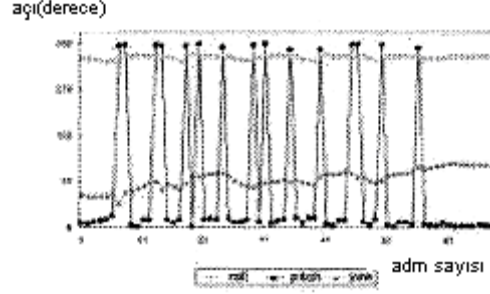
bağlar ve ünite, modem vasıtası ile GPS verisini baz istasyona gönderir. Baz istasyonda, mobil istasyondan gelen bu işlenmemiş GPS bilgisi, mikrobilgisayar tarafından, GÖ'nün yerini belirlemek için kullanılmaktadır (baz istasyondaki diğer GPS alıcısından elde edilen düzeltme verisini kullanarak). Sonuçta ses sinyali kılavuz bilgisi olarak GÖ'ye mobil telefonla ulaştırılmış olmaktadır. Kılavuz bilgisi, en yakın kavşak noktasını, ilgili binayı ve bazı köşetaşı isimlerini taşımaktadır. Bu sistemde GPS'den, her 3 saniyede bir koordinat bilgisi alınmaktadır.



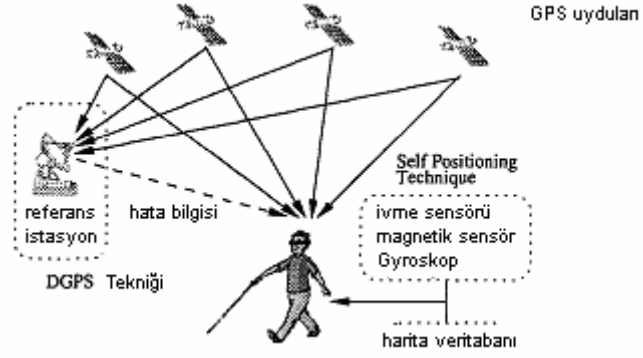
Şekil 1.18 Konum kılavuz sistemi (Makino ve ark. 1996)

DGPS kullanan bir başka sistem (Hashimoto ve ark. 2001), ivme sensörü (acceleration sensor), yer magnetik sensörü (terestial magnetic sensor), cayro sensör, harita ve trafik veritabanından oluşmaktadır (şekil 1.20). Bu sistemde yön, klavyeden veya ses tanıma sisteminden girildikten sonra, GÖ'nün pozisyonu kestirilmekte ve hedefe giden en uygun yol hesaplanmaktadır. Belirtilen sistemde, DGPS için gerekli olan bilgi, FM alıcı ile sağlanmakta ve pozisyon bilgisi her 5 saniyede bir alınabilmektedir. DGPS'in çalışmadığı durumlarda, diğer pozisyon sensörlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu sistemde adım genişliği ve adım sayısı kullanılarak hareket mesafesi hesaplanmaktadır. Adım sayısı ise, ivme sensörü ile ölçülmektedir. İvme sensörü çıkışındaki her keskin pik, bir adım anlamına gelmektedir (şekil 1.20).

DGPS tekniği ile mutlak pozisyon elde edilen bir sistemde GPS sinyali olmadığı zamanlar pozisyonu kestirmek gereklidir. Bu durumda ivme sensörü ve cayro ile izafi hareket ölçülür.



Şekil 1.19 İvme sensörü çıkışı (Hashimoto ve ark. 2001). Pikler adım anlarını göstermektedir.

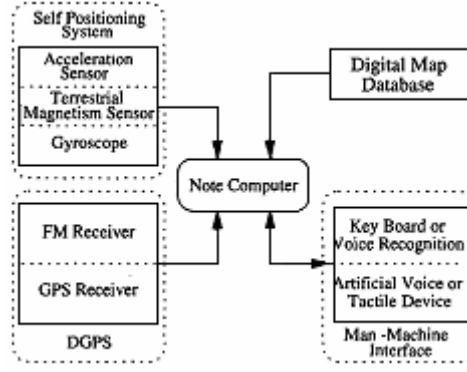


Şekil 1.20 GÖ'ye yönelik, DGPS kullanılan bir navigasyon sisteminin ilkesi (Hashimoto ve ark. 2001)

GPS'in yanında cayro, magnetik sensör, ivme sensörü ve dijital harita bulunduran bir sistemde (Yamasaki ve ark. 2000), GPS verisi olmadığı zaman, diğer pozisyon belirleme araçları kullanılarak pozisyon kestirilmektedir. Bu sistemde GÖ sentezlenmiş sesle yönlendirilmekte ve yön, cayroskop ve magnetik sensör ile kestirilmektedir. Bu kestirim yönteminin sonucu, cayroskop çıkışının kayması (ofset) nedeni ile hatalı olabilmektedir. Bu sistemde, belirtilen hatanın kaldırılması için harita eşleştirme (map matching) yöntemi kullanılmaktadır.

En kısa yol, her zaman en uygun olmayabileceği için, bu sistemde GÖ güzergahı, 'Dijkstra'nın algoritması' ile ve yol şartları kullanılarak belirlenmektedir.



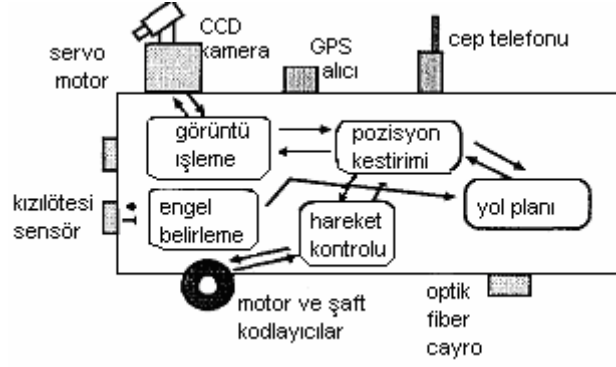


Şekil 1.21 GPS tabanlı bir navigasyon sisteminin basitleştirilmiş diyagramı (Hashimoto ve ark. 2001)

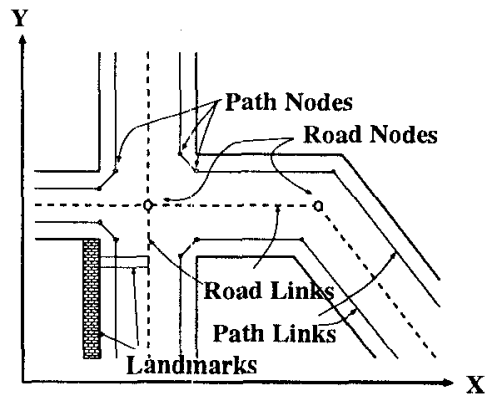
Robotlar için bir navigasyon sistemi (Kotani ve ark. 1998), DGPS ve görsel navigasyonu birlikte kullanmaktadır (şekil 1.22). Belirtilen sistemde robot, önemli nesnelere (dönüm noktası) belirlemek için görüntü, başlangıç pozisyonunu ve yönlenmeyi belirlemek için de DGPS kullanmaktadır. Şekil 1.22, sistemin bileşenlerini ve bu bileşenler arasındaki ilişkileri göstermektedir.

Belirtilen sistemde robot hareket ederken, pozisyonunu klasik DR (Dead Reckoning) yöntemi ile kestirmekte ve pozisyon kestirimindeki hatayı azaltmak için çevre modeli ile dönüm noktalarını eşleştirmektedir. Robotun başlangıç pozisyonu ve yönü, DGPS ile elde edilen ilk ve ikinci yerlerin değerlerinden hesaplanmaktadır. Sonraki yönlenmeler ve pozisyon değerleri ise, harita eşleştirme (map matching) ile elde edilmektedir. Bu sistemde kamerayı döndüren bir servo motor bulunmaktadır. Kotani ve ark. (1998) tarafından kullanılan çevre modelinde yollar sabit bir koordinatta belirlenmiş ağlardır (şekil 1.24). Bu ağlar, eğri ve düğümlerden oluşmaktadır. Dönüm noktalarının (önemli noktaların) yerleri koordinatlarla bellidir. Dönüm noktası verileri insan tarafından eklenmektedir. Bu sistemde engeller kızılötesi sensör ile belirlenmektedir.

Çevre modeli ile bir çevredeki dönüm noktalarını eşleştirmek önemlidir. Robot, görüntüdeki doğruları (dönüm noktaları) belirler. Böylece, DR'den kaynaklanan pozisyon hatası telafi edilmiş olur. Görüntüdeki doğrular Hough transform ile belirlenmektedir.



Şekil 1.22 Kamera ve GPS kullanan Robotun şematik gösterimi (Kotani ve ark. 1998)



Şekil 1.23 GPS ve kamera içeren robot navigasyon sisteminde kullanılan çevre modeli (Kotani ve ark. 1998)

### 1.3. Görsel Navigasyon Çalışmaları

#### 1.3.1. Görsel navigasyonda genel kavramlar ve yaklaşımlar

Kamera (veya kameralar) vasıtası ile alınan çevre görüntüsünün (iç veya dış mekan) navigasyonda kullanılmasına ilişkin çalışmalar burada sunulmuştur. Bu kapsamda hem yönlenme (orientation) hem de engel tanıma çalışmaları araştırılmıştır. Kamera görüntüsü kullanan engel tanıma veya yönlenme metotları, tek bir statik görüntüden ziyade belli zaman aralıkları ile alınan bir dizi görüntü kullanmaktadır. Genel olarak görüntü dizileri kullanılarak hareket analizi yapmanın iki genel yolu vardır (Aggarwal ve Nandhakumar1988). Bunlar özellik tabanlı yaklaşım (feature-based) ve optik akıştır.

Vega ve Jabour'e (1989) göre, hareket analizinde kullanılan yöntemler iki ana grupta toplanabilir. Bu yöntemler, optik akış sınır denklemi (optical flow constraint equation) ve eşleştirmedir (matching; correspondence-based). Matsumoto ve ark.'e (2000) göre, görsel navigasyon teknikleri iki ana gruba ayrılabilir;

- Model tabanlı yaklaşım (model-based approach): mirengi noktası (landmark) ve kenar gibi ayırık nesnelere kullanır
- Görsel tabanlı yaklaşım (view-based approach): bütün bir sahnenin görüntüsünü kullanır.

Görsel tabanlı yaklaşım daha yenidir. Yapay dönüm noktaları gerekmediği için ve insan yapısı olmayan bir çevrede de uygulanabildiği için daha cazip görülmektedir.

'Bellek tabanlı yaklaşım' (memory-based approach), diğer yöntemlerle kıyaslandığında, belleği doğrudan kullanan yöntemlerin genel adıdır (Matsumoto ve ark. 2000). Bu yöntemde amaç, gerçek dünyadaki çok karmaşık bir problemi çok büyük bellek alanları ve basit eşleştirme yöntemleri kullanarak çözmektir. Nesne tanımada bu yöntemin uygulanması 'görsel tabanlı yaklaşım' veya 'görünüş tabanlı yaklaşım' (view-based or appearance-based approach) olarak bilinir. Klasik 'model tabanlı' (model-based) yöntemde, eşleştirme işleminde (matching process) nesnelere 3 boyutlu modeli ile birlikte kenar ve köşe gibi geometrik özellikler de kullanılmaktadır. Ancak 3 boyutlu

nesnelerin geometrik modelinin ve özelliklerinin çıkartılması gerçek dünyada kolay olmamaktadır.

Model tabanlı yöntemin tersine görsel tabanlı yaklaşımda, eşleştirme işleminde iki boyutlu görüntüler doğrudan kullanılmaktadır. Bu yöntemde robotun öncelikle çevredeki görüntüleri ezberlemesi için bir eğitim aşaması gerekmektedir. Daha sonra o anki görüntü ile bellekteki görüntü eşleştirilerek robotun yeri belirlenir. Burada ezberlenen görüntülerin boyutu 16x12 ye düşürülmüştür. 'Maeda et al', robotun yerini belirlemek için özvektör uzayı (eigenspace) metodunu kullanmıştır. 'Eigenspace' yönteminde robotun gördüğü çevrenin bir özvektör uzayındaki izdüşümü alınmaktadır. Fakat bu yöntemde yer belirlemenin yeterince başarılı olmadığı düşünülmektedir (Matsumoto ve ark. 2000).

Görsel tabanlı engel tanıma teknikleri, Okada ve ark.'e (2003) göre, hareket ıraksaması (motion parallax) gibi geometrik özelliklerin farklarına dayanan, izdüşümsel değişmezlere (projective invariant) dayanan ve derinlik bilgisine (depth information) dayanan teknikler olarak sınıflandırılmıştır. Bunların dışında kalanlar ise, bilinen engellerin daha önceden öğrenilen iki boyutlu görüntü modeline dayanır.

Bertozzi ve Broggi'e (1999) göre, görsel navigasyonda en yaygın kullanılan engel belirleme metotları iki sınıfa ayrılmıştır. Bunlar,

- Optik akış analizine dayanan metotlar
- Monoküler olmayan görüntülerin işlenmesine dayanan metotlar

Optik akış analizine dayanan metotlarda birden fazla görüntü, aynı kamera ile farklı anlarda elde edilmektedir. İkinci metotta ise, farklı kameralarla, fakat eşzamanlı olarak farklı görüş açılarından görüntü alınmaktadır. İkinci metot, kamera hareketini (egomotion) hesaplamak için kullanılabilir. Engeller ise, gerçek hız alanı ile beklenen hız alanı arasındaki farklar analiz edilerek belirlenebilir (Bertozzi ve Broggi 1999).

Optik akış iki nedenden kaynaklanabilir (Albus 1990); nesnenin hareketi veya gözlemcinin (kameranın) hareketi. Bunlardan kameranın hareketine özel olarak 'egomotion' denmektedir. 'Egomotion' hesaplanma yöntemleri ile ilgili olarak bazı

kaynaklar belirtilmiştir (Branca ve ark. 1997, Shafait ve ark. 2004, Silva ve Victor 1996, Thorpe ve ark. 1988).

Optik akışta, ardı sıra gelen iki görüntü arasındaki farkın küçük olması için görüntü dizileri yeterli sıklıkta alınması gerekmektedir (Sonka ve ark. 1993). Yeterli sıklıkta alınmayan görüntüler arasındaki ilişkinin bulunması için kullanılan bir yöntem yer değiştirme vektörünün (displacement vector) hesaplanmasıdır. Yer değiştirme vektörünü belirlemek için pratik yöntemler, korelasyon tabanlı (correlation-based) yaklaşımlarda olduğu gibi, küçük bölgelerin karşılaştırmalı bir analizine ya da fark yöntemine (differential method) dayanır (Mester ve Hotter 1995). Optik akış ve hareket analizi ile ilgili diğer çalışmalara bakılabilir (Albus 1990, Baratoff ve ark. 1998), Berthold ve Schunck 1981, Enkelmann ve ark. 1994, Kruger ve ark., Song ve Huang 2001, Vega ve Jabour 1989, Yu ve Caimi 1993). Bu çalışmalar arasında bulunan (Aggarwal ve Nandhakumar.1988, Berthold ve Schunck 1981, Vega ve Jabour 1989) inceleme niteliğinde çalışmalardır.

Monoküler olmayan görüntülerin işlenmesine dayanan metotlarda, farklı görüş açıları ile eşzamanlı alınan görüntülerdeki pikseller arasındaki benzerlikleri belirlemek gerekmektedir (Bertozzi ve Broggi 1999). Benzerlikleri belirlenecek iki görüntü olması durumunda ‘steryo görme’, üç görüntü olması durumunda ise ‘trinocular vision’ söz konusudur. Steryo görüntülerin, monocular (tek kamera ile) alınan görüntü dizilerine göre avantajı, engellerin varlığının doğrudan doğruya belirlenebilme olasılığıdır (Bertozzi ve Broggi 1999). Optik akış analizinde ise engeller dolaylı olarak hız alanının analizinden türetilmektedir. Ayrıca engel ve gözlemci (kamera) hızlarının küçük veya sıfır olduğu sınır durumlarda optik akış yetersizdir. (Bertozzi ve Broggi 1999) da kameralar arası uzaklığın, nispeten fazla olduğu bir stereo sistem kullanır. Bu şekilde uzaktaki küçük engeller bile algılanabilir.

Maja ve ark.’e (2000) göre, engel belirleme algoritmaları iki gruba ayrılabilir;

- Model tabanlı (model-based) sistemler ve
- Sensör tabanlı (sensor-based) sistemler.

Model tabanlı sistemlerin avantajı optimal engelsiz bir bölge oluşturma yeteneklerinin olmasıdır. Dezavantajı ise, hareketli veya bilinmeyen nesnelerin olduğu bir bölgede kullanılamamasıdır.

Sensör tabanlı bir sistemde, sensörün o anki çıkış değeri ya tanımlanmış bir haritaya kaydedilir ve engelden korunma için bu çıkış değeri işlenir ya da önceki veriler dikkate alınmaksızın o anki veriye robotun tepki vermesi sağlanır (reaktif tip).

Başka bir sistemde (Tao ve ark. 1997), yapay sinir ağları (Neural Network-NN) ve bulanık mantık (Fuzzy logic) kullanılarak yol üzerindeki gölgeler ve su izleri tanınabilmektedir. Bu yaklaşıma göre, doğal parlaklık koşullarında gölge, kararlı bir renge sahiptir (örneğin koyu gri veya siyaha yakın). Fakat bu renk kompozisyonunu klasik hesaplamalarla sınıflamak oldukça zordur (Tao ve ark. 1997). Bu nedenle bu çalışmada bulanık –sinirsel ağ önerilmiştir. Burada 4 katmanlı Geri yayımlı (Back propagation) NN kullanılmıştır. NN giriş katmanı 3 girişlidir (R,G,B renk bileşenleri).

### **1.3.2. Optik akış yöntemini kullanan navigasyon sistemleri**

Giacheti ve ark.'e (1998) göre, bir araç üzerine monte edilen bir TV kamerasından alınan görüntü dizisinden optik akış hesaplanmıştır. Kameranın titreşimi ve görüntülerdeki dokunun zayıf olması nedeni ile 'Diferansiyel' teknikler yeterli sonuçlar sağlamamaktadır (Giacheti ve ark. 1998). Korelasyon tabanlı (correlation based) teknikler kullanılması ve titreşimler için optik akış düzeltmesi ile daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Kamera optik eksenini yere paralel olduğu zaman hareket alanının (motion field) belli bir şekilde ve yaklaşık kuadratik olması beklenir (Giacheti ve ark. 1998). Bu sonuca dayanılarak, kamera hareketi, bu optik akıştan kestirilebilir ve aracın doğrusal hızı ve açısal hızı ile ilgili bilgi elde edilebilir. Optik akış analizi ile farklı hızlarla hareket eden nesnelere de belirlemek mümkün olmaktadır.

Yön kontrolü görsel sistemin yolu tanıdığı bir geri besleme sistemi ile elde edilmektedir. Yolu tanımda çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bunlar renge dayalı piksel sınıflama veya kenar belirleme yöntemi kullanılarak yol özelliklerinin izlenmesi ve takip edilmesi veya kalıp eşleştirme olabilmektedir. Engellerin belirlenmesi, Lazer tarama gibi aktif sensörlerle, düşey kenarları izleyerek, stereo görme ile ve hareket

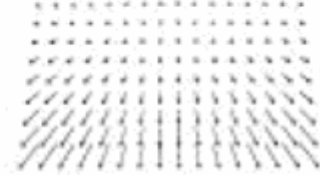
paralaksı (motion parallax) ile yapılabilmektedir. Optik akışın, ayrılma (divergence) gibi bazı özellikleri engelleri tanımada önerilmiş veya kullanılmıştır.

Optik akış titreşimlerden kaynaklanan istenmeyen hareketi elimine etmelidir. (Giacheti ve ark. 1998)'ın çalışmasında aracın hareket bilgisi (egomotion), sahnede başka hareketli araçlar olduğu halde elde edilmektedir.

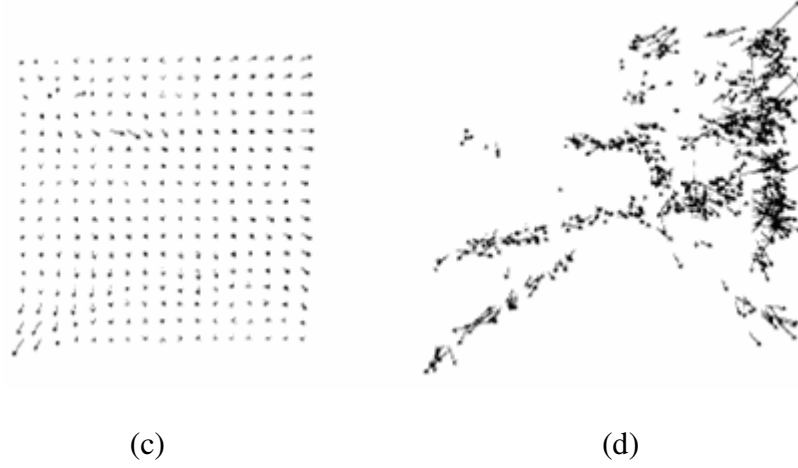
Şekil 1.24 (a)'da bir dizi görüntüden birisi verilmiştir. (b)'de düz bir yolda düzgün bir ilerleme olması durumunda teorik olarak beklenen optik akış gösterilmekte, (c)'de görüntü bir Gausyen filtre ile düzgünleştirildikten sonra birinci derece türev kullanılarak elde edilen optik akış, (d) de ise, ikinci derece türev kullanılarak elde edilen optik akış gösterilmektedir. Şekil 1.25 (a)'de çok ölçekli fark tekniği (multiscale differential technique) ile elde edilen optik akış, (b)'de korelasyon tekniği ile elde edilen optik akış görülmektedir. Burada optik akışın ölçüldüğü parça büyüklükleri 41x41 pikseldir ve  $\sigma=1.5$  olan bir Gausyen filtre uygulanmıştır.



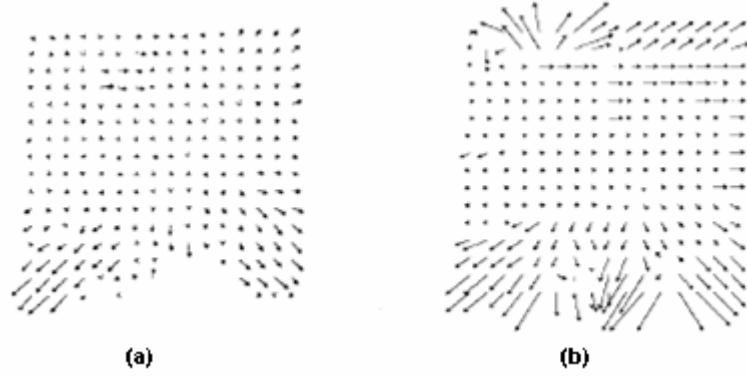
(a)



(b)



Şekil 1.24 Farklı durumlarda hesaplanan optik akışın kıyaslaması (Giacheti ve ark. 1998).



Şekil 1.25 Çok ölçekli fark tekniği (a) ve korelasyon tekniği (b) ile hesaplanan optik akışlar (Giacheti ve ark. 1998).

Araç 30 km/h'ten daha fazla bir hıza sahipse, görüntüdeki noktalar 5 pikselden daha fazla yer değiştirebilmektedir. Bunun sonucunda türevlerin hesaplanmasında hatalar oluşabilmektedir. Yol üzerindeki gri değişimleri küçük (doku eksikliği) olduğundan, türev hesaplamalarında önemli derecede kararsızlıklara neden olmaktadır.

Hareket alanı sadece araç hareketinden kaynaklanmamakta, titreşimlerin de katkısı bulunmaktadır (şekil 1.25). Kamera titreşimleri ani ve büyük geçişler ortaya koyabilmektedir. (Giacheti ve ark. 1998) çalışmasında, ard arda gelen iki görüntüde her noktanın çevresindeki gri seviye modeli arasındaki korelasyonu (ilişkiyi) maksimum yapan kaymayı arayan optik akışı hesaplamak için korelasyon teknikleri kullanılmıştır.  $t_1$  anındaki bir  $(x, y)$  noktası ile eşleşen  $t_2$  anındaki  $(x', y')$  noktası, (1.7)'deki uzaklığı minimum yapmaktadır;



$$\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n (E(i+x', j+y', t_2) - E(i+x, j+y, t_1))^2 \quad (1.7)$$

(1.7)'deki işlemlerin yapılması oldukça uzun zaman almakta, bu nedenle işlemi hızlandırmak için bazı varsayımlar ve sınırlamalar yapılmaktadır. Bu sınırlamalardan birincisi optik akış, 256x256 piksel boyutlu tüm görüntü üzerinden hesaplanmaz, bunun yerine 64x64 piksel boyutlu daha az yoğunluklu ızgara (grid) üzerinde hesaplanır. İkinci olarak uzaklık hesaplamak için kullanılan pencereyi küçülterek hesaplama hızını arttırmak mümkündür. Algoritmanın verimini arttırmak için görüntü  $\sigma=1.5$  piksel olan Gausyen filtreden geçirilmektedir.

Giacheti ve ark.'e (1998) göre belirli bir anda beklenen iki boyutlu hareketin iyi bir modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} v_x &= ax^2 + bxy + af^2 + s_x \\ v_y &= axy + by^2 + s_y \end{aligned} \quad (1.8)$$

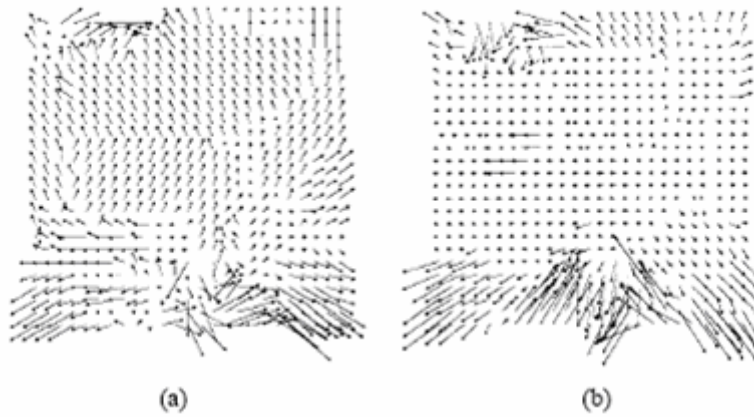
Burada  $s_x$  ve  $s_y$  terimleri şok etkilerini temsil etmektedir.  $s_x$  ve  $s_y$  şok ve titreşim ile ortaya çıkan gürültüyü tanımlayan rasgele ve yaklaşık ilişkisiz olan değişkenler olması durumunda, 'a' ve 'b'nin zamanla düzgün değişmesi beklenir. Kamera hareketinin parametreleri için  $s_x$  ve  $s_y$ 'nin kestirilmesi gerekmektedir. Araç, doğrusal yol alırken, hareket alanının (motion field-MF), görüntü merkezi civarında çok küçük olması beklenir. Böylece  $s_x$  ve  $s_y$ , görüntü merkezi civarında elde edilen optik akışın ortalama yer değiştirmesi hesaplanarak kestirilebilir.

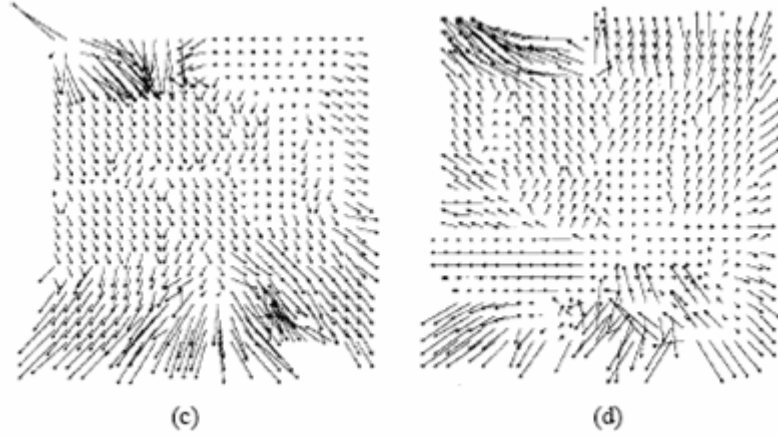
Kamera şok ve titreşimlerinin genliği net olarak yolun, aracın, sürücünün kendine has özellikleridir ve önceden kestirilememektedir. Aynı düşünce ile, GÖ navigasyonunda da bu titreşimlerin genliğinin sadece GÖ'nün kendi hareketine bağlı olması beklenir.

### 1.3.2.1. Optik akış düzeltimi

Görüntü hareketinin, iki bileşenin toplamından oluştuğu açıktır. Bunlar aracın hareketi nedeni ile oluşan düzgün bileşen ve kamera hareketi nedeni ile oluşan yüksek frekanslı bileşendir. Kameranın hareketsiz olduğu, pasif navigasyon durumunda optik eksen de yere paralel ise, ufuk (görüntü düzleminde  $y=0$  doğrusu yakınlarında olduğu varsayılan) civarındaki hareket alanının düşey bileşeninin sıfır olması beklenir (Giacheti ve ark. 1998). Bu nedenle  $s_y$ 'nin bir kestirimi,  $y=-c$  ve  $y=+c$  doğruları arasındaki şeritte ortalama düşey yer değiştirme miktarıdır. Böylece şok ve titreşimler için mümkün olan bir kompanzasyon (düzeltim), her akışta bu düşey yer değiştirme hesaplanarak ve sonra da orijinal akıştan bu değer çıkarılması ile elde edilebilir. Yatay şoka ise, benzer kestirimle elde edilememektedir. Ancak birçok durumda ortalama yatay şok, düşey şoktan küçük bulunduğu için genellikle ihmal edilebilmiştir (araçlar için). Optik akış düzeltmede gökyüzündeki akış genellikle çok güvenilir olmadığı için kullanılmamaktadır.

Şekil 1.26'da Yolda tek başına ilerleyen bir araçtaki kameradan alınan görüntü kullanılarak ve korelasyon tekniği ile hesaplanmış optik akışlar görülmektedir. Şekil 1.26 (a), (c), (d)'de vektörlerin şok nedeni ile aşağı ve yukarı doğru sapmaları görülmektedir. Sadece şekil 1.26 (b)'deki durum saf ötelenme hareketine (egomotion çok küçük) benzemektedir (Giacheti ve ark. 1998).





Şekil 1.26 Korelasyon tekniği ile hesaplanmış optik akışlar (Giacheti ve ark. 1998).

### 1.3.2.2. Kamera hareketinin (egomotion) belirlenmesi

2D hareket alanı modeli, Giacheti ve ark.'e (1998) göre şöyle verilmektedir;

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \frac{w}{f} x^2 + \frac{V}{hf} xy + wf \\ v_y &= \frac{w}{f} xy + \frac{V}{hf} y^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

(1.9) bağıntılarındaki 'h' kameranın yerden yüksekliği, 'f' kamera odak uzaklığı, 'V' 3D hız vektörü,  $v=[v_x, v_y]$  2D hız vektörü, w açısal hızdır. 'x' ve 'y' ise uzaydaki bir noktanın görüntü düzlemi üzerindeki perspektif izdüşüm noktalarıdır. (1.9) bağıntıları göz önüne alındığında, egomotion elde etmek için, düzeltilmiş optik akıştan iki parametre 'w' ve 'V' nin kestirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bunun için 3 yöntem sunulmaktadır (Giacheti ve ark. 1998). Bunlardan ikisi genel yöntemdir. Bu genel yöntemlerden sadece birisi burada sunulmuştur. Bu yöntemde göre, önce düşey eksen  $x=0$  boyunca ortalama yatay yer değiştirme hesaplanarak 'w' kestirilir, daha sonra her akış vektöründen 'V' aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır;

$$V = \frac{v_y hf}{y^2} - \frac{whx}{y} \quad (1.10)$$

'V' değerleri, görüntünün sağ, orta ve sol alt kısmındaki 3 bölgede kabaca ortalamalar alınarak elde edilir. Hatırlatmak gerekirse, egomotion parametrelerinin bu şekilde kestirimi optik akış düzeltilmesine dayanmaktadır. Önerilen düzeltme ise sadece

yatay şoklar ihmal edilebildiği zaman uygulanabilmekteydi. Şokların büyük olduğu durumlarda yukarıdaki varsayımlar yapılamadığı için optik akış düzeltmesi kullanılamamaktadır. Bu durumda Kalman filtresi, egomotion parametrelerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. 't' anındaki bir hareket parametresinin kestirimi  $in(t)$  ise, filtrelenmiş kestirim şöyle tanımlanabilir;

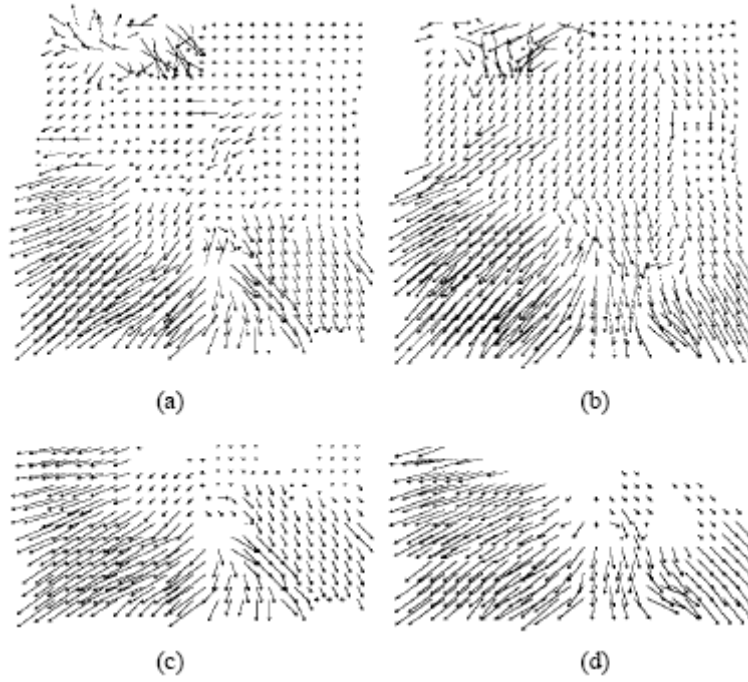
$$out(t) = \frac{a + \delta(t)}{a + b + \delta(t)} out(t-1) + \frac{b}{a + b + \delta(t)} in(t) \quad (1.11)$$

Burada  $\delta(t)$  ansal ölçüm hatasının bir kestirimidir. Buradaki filtre, bir Kalman filtresi olarak düşünülebilir. 'b' tahmini hata ve ' $\delta(t)+a$ ' ise hata ölçümüdür. (Giacheti ve ark. 1998)'nin çalışmasında  $\delta(t)$ , düzeltimden önce t zamanında ufuk yakınında ortalama düşey akış olarak kestirilmiştir. En iyi performans  $a=3$ ,  $b=1$  değerleri için elde edilmiştir.

### 1.3.2.3. İzafi hareketin belirlenmesi

Yaklaşan (zıt hızlı) bir araç hareketi, görüntü düzleminde ayrılan (uzaklaşan) bir akışa neden olmaktadır. Bu akış nitelik olarak, egomotion sebebiyle ortaya çıkan akışa benzemektedir. Fakat iki hareketin (egomotion ve diğer araçların nispi hareketi) kombinasyonu ile ortaya çıkan akış 'egomotion'ın sebep olduğu akıştan değer olarak farklıdır. Aksine durumda, uzaklaşan veya sollayan araç hareketi nedeni ile ortaya çıkan optik akış bir noktaya yönelmektedir. Bu gözlemler, bu nispi hareketleri belirlemek için kullanılmıştır. Şekil 1.27'de, karşı yönden gelen bir araca ait optik akış vektörleri gösterilmektedir. Şekil 1.27'de (a) ve (b) işlenmemiş akış, (c) ve (d) düzeltilmiş optik akıştır (Giacheti ve ark. 1998).

Yaklaşan ve uzaklaşan araç için elde edilen optik akış biçimlerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir (şekil 1.27). Diğer şerit üzerinde başka bir araç yaklaşırken, akış sağ bölgede uzaklaşan, sol bölgede ise yakınsayan biçimdedir. Bu da, aynı yönde hareket eden, fakat hızı daha büyük olan bir aracın varlığını göstermektedir. Bu nispi hareketlerin değeri 'V' nin değeri (yukarıda açıklanan yöntemle elde edilen) ile kıyaslanarak kestirilebilir.



Şekil 1.27 Nispi hareketin optik akışı (Giacheti ve ark. 1998).

Engelleri optik akış ile belirlemek için, görüntünün alt kısmı küçük karelere (8x8 veya 10x10 piksel gibi) bölünmekte ve her bir kare için ‘V’nin bölgesel kestirimi hesaplanmaktadır (1.10). En iyi kestirilmiş hız ile bölgesel hız kestirimi arasındaki farkın mutlak değerinin sabit bir eşik değerinden büyük olduğu komşu karelerden oluşan ilişkili bölgeler engel olarak etiketlenmektedir (1.12).

$$|V_{yere} - V_{eniye}| > T \quad ; \text{ise engel vardır.} \quad (1.12)$$

Ufuk yakınlarında engel belirleme genellikle başarısız olmaktadır. Çünkü, optik akıştaki küçük hatalar ‘V’ de büyük değişmeler anlamına gelmektedir.

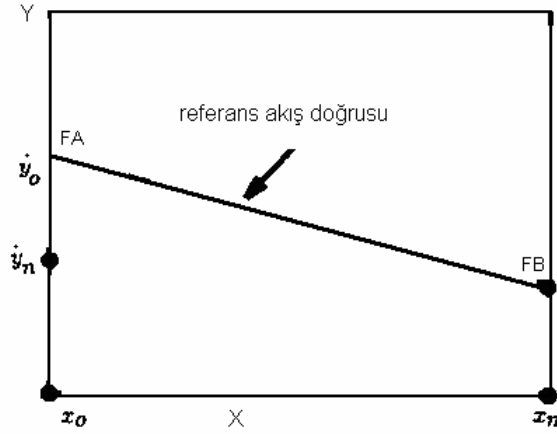
#### 1.3.2.4. Engel belirlemede optik akış kullanan bazı çalışmalar

Young ve ark. (1992) tarafından yapılan çalışmada optik akış ile pozitif ve negatif engeller belirlenebilmektedir. Optik akış, nesne ve kamera arasındaki nispi hareket nedeniyle kamera görüntü düzleminde oluşan iki boyutlu harekettir. Belirtilen çalışmada uzaklık bilgisi elde edilmeden, optik akış kullanılarak engeller belirlenmektedir. Ayrık engeller belirlenmiş ve eğimli bölgeler hesaplanmıştır. Bu

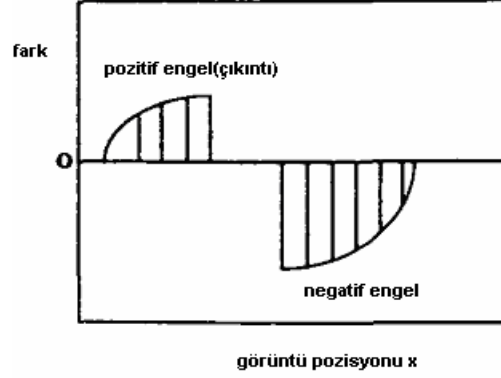
çalışmada kullanılan yöntem insan yapımı yollarda hareket eden araçlar için kullanılabilir. Bu yöntemin avantajları şöyle sıralanabilir:

1. Basittir, çünkü optik akışın bir bileşeni kullanılmaktadır. Yol bilgisi, arazi modeli, kamera hızı veya koordinat dönüşümü gerekmemektedir.
2. Hızlıdır, az hesaplama gerektirir.
3. Güçlüdür az sayıda hata kaynağı içermektedir

Young ve ark. (1992) tarafından yapılan çalışmada, engel belirlemek için kullanılan yöntem üç adımda özetlenebilir: Birinci adımda referans akış doğrusu kestirilir (şekil 1.28). Bu doğru, araç yakınlarında, yer yüzeyindeki bölgelere karşılık gelen optik akıştan elde edilmektedir. Bu doğruyu kestirmek için sadece iki nokta gerekmektedir. İkinci adımda nesnenin iz düşümüne ilişkin optik akış ile referans akış doğrusu arasındaki fark hesaplanmaktadır. Burada nesne, ayırık engel, engebeli yer vb. olabilir. Üçüncü adımda ise, yer karakteristikleri belirlenmektedir. İkinci adımda hesaplanan fark bunun için kullanılır; fark pozitif ise gözlenen nokta, referans doğruya göre bir çıkıntı engel olarak göz önüne alınır. Fark negatif ise, gözlenen nokta bir çöküntü (negatif engel) olarak düşünülür (şekil 1.29).



Şekil 1.28 Referans akış doğrusu (Young ve ark. 1992)



Şekil 1.29 Ayrı engellerin belirlenmesi (Young ve ark. 1992)

Optik akış kullanılarak yapılan başka bir engel belirleme çalışmasına göre (Larusso ve Micheli 1996), bir kamera, düzlem bir yol üzerinde giden bir araç üzerine uygun bir şekilde monte edildiği zaman, hareket problemi doğrusal, bölgesel ve sadece iki parametreye bağlı olmaktadır. Bu parametreler, yol düzlemine dik olan bir eksen çevresindeki açısal hız ve gözlenen derinlik ile ötelenme hızı arasındaki orandır.

Larusso ve Micheli'e (1996) göre yön kontrolü, görme sisteminin yol özelliklerini izlediği ve tanıdığı bir geri besleme çevrimi ile olmaktadır. Bu yol özellikleri, kenar belirleme veya kalıp eşleştirme (template matching) yöntemleri kullanılarak belirlenir. Engel belirleme genel olarak aktif sensörlerin kullanımı, düşey kenarların takibi, steryo görme veya hareket ıraksaması (motion parallax) ile yapılmaktadır.

Larusso ve Micheli'in (1996) çalışmasında, bir referans sisteminin kameraya bağlandığı ve bu referans sisteminin orijininin kameranın odağı olduğu varsayılmıştır (Düzlemsel navigasyon-planar navigation) (Larusso ve Micheli 1996). Z eksenini kameranın optik eksenini doğrultusunda seçilmiştir. X ve Y eksenleri de sırası ile görüntü düzleminin yatay ve düşey doğrultularıdır. Eğer görüntü düzlemi düzlem yüzeye (yol) dik ve optik eksen ilerleme yönüne her zaman paralel tutulursa, statik bir çevrede katı cismin hareketi durumunda hareket parametrelerinin elde edilmesi problemi, lineer ve iki bilinmeyenli 2 denklemden oluşur: öteleme hızı  $\vec{T} = (0,0,T)$  ve açısal hız  $\vec{\Omega} = (0,\Omega,0)$  (Y eksenini yol düzlemine dik). Optik akış bileşenlerinin denklemleri aşağıdaki gibi indirgenebilir.

$$\left. \begin{aligned} u &= \Omega \cdot f + x \cdot \left( \frac{\Omega}{f} x + \frac{1}{\tau} \right) \\ v &= y \cdot \left( \frac{\Omega}{f} x + \frac{1}{\tau} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

Burada  $\tau = -Z/T$  genelleştirilmiş çarpışma zamanı (time-to-collision; **TTC**), 'T' hızında, 'Z' mesafesini almak için gerekli zamandır ve gözlenen noktanın hızı ile mutlak uzaklık arasındaki iyi bilinen belirsizliği yansıtır. ( $\tau$ ), zaman biriminde Z derinliğinin ölçüsü olarak düşünülebilir. Yatay doğru (x,0) noktası sayılmazsa, çözüm şöyle verilir:

$$\Omega = \frac{u \cdot y - v \cdot x}{f \cdot y} \quad (1.14)$$

$$\frac{1}{\tau} = \frac{f^2 \cdot v - x \cdot (u \cdot y - v \cdot x)}{f^2 \cdot y} \quad (1.15)$$

Burada f kamera odak uzaklığıdır.

Diğer araçların (engel olarak) belirlenmesi: yaklaşan araçlar, görüntü düzleminde, kamera hareketinin neden olduğu akışa benzer şekilde dağılan bir akış meydana getirirler. Bu nedenle iki bileşeni olan optik akışın bileşenlerini ayırmak oldukça zordur. Yine de yarı otomatik bir kalibrasyon yöntemi tarafından sağlanan bilgi kullanılarak optik akışın kabaca ayırımını yapmak mümkündür. Bunun için basitçe yaklaşan aracın neden olduğu akış genişliğinin, bölgesel olarak arka planın neden olduğu akıştan daha büyük olması gerektiği düşünülür. Yol üzerindeki bu türden engellerin yerinin belirlenmesi 2 adımdan oluşur ve kalibrasyon işlemi ile başlar. Kalibrasyon işlemi seçilmiş konumlardaki (TTC değerlerine göre) sahnenin kabaca 3D tanımını elde etmeyi hedefleyen bir işlemdir. Kalibrasyon işlemi, araç harekete başladığı zaman elde edilen ilk birkaç yol görüntüsü analiz edilerek yapılır. Bu adımda, yola ait olma olasılığı bulunan noktalardaki referans TTC değerleri, sonraki görüntüdeki karşılık gelen satır üzerindeki her satır üzerindeki her ortalama TTC değerleri kıyaslanarak hesaplanır.



Bu işlem yolun kaba bir referans haritasını sağlar. Bu harita zaman içinde kolayca güncellenebilir.

Sonraki aşamada yol üzerindeki engelli bölgeler, sahnedeki noktaların TTC'leri değerlendirilerek ve bu noktalar uygun bir şekilde referans haritanınkilerle kıyaslanarak elde edilir.

Larusso ve Micheli'nın (1996) çalışmasında, açısal hızın elde edilmesinin yönlenme kontrolü için önemli bilgiler sağlayabileceği görünmektedir. Hareketli engellerin belirlenmesinde hareket ayrımı işlemi, basit bir başlatma kalibrasyonuna dayanır ve herhangi bir filtre gerekmez. Hareket parametrelerinin optik akışın sadece bir bileşeninden hesaplanması kestirimin, en iyi olmasını garanti eder. Açısal hız ve TTC, görüntünün sadece ince şeritleri işlenerek ve seçilmiş bir bölgede yalnızca 1D optik akış kestirilerek elde edilir.

### 1.3.2.5. Doğrusal zamanlı optik akışın navigasyonda kullanılması

Optik akışın robot navigasyonunda kullanıldığı bir çalışmada (Isiyama ve ark. 2004) doğrusal zamanlı optik akış (linear-time optical flow) kullanılarak yüksek doğrulukta ve yüksek hızlı bir yöntem önerilmiştir. Doğrusal zamanlı optik akış algoritması, sabit bir uzaklığa hareket edecek karakteristik bir noktanın hareket süresini ölçer ve arama zamanını düşürür (şekil 1.30). 3D uzayda bir nesnenin hareketi gene 3D bir hız vektör alanına sahiptir. Bu 3D hareket alanı 2D hareket alanı olarak bir gözlemcinin retinası üzerindeki izdüşümüdür. Retina üzerinde gözlenen bir noktanın yoğunluğundaki  $\Delta t$  zamanı içindeki  $\Delta I(x,y)$  değişmesidir. Optik akış bir görüntüden diğerine, görüntü özelliklerinin hareketini gösteren bu değişmeyi tanımlayan bir vektör alanıdır. Yaygın olarak kullanılan korelasyon tabanlı algoritmaların sınırlaması vardır. Bu algoritmalarda hesaplama miktarı, pikselin yer değiştirme miktarının karesi ile artar (Isiyama ve ark. 2004). Başka bir deyişle izlenen nesnenin hızı iki katına çıkarsa, yer değiştirmenin algılanacağı araştırma bölgesi dört katına çıkar. Hız uzaklık ve zaman arasındaki basit ilişki;

$$hız = \frac{uzaklık\ farkı}{zaman\ farkı} \quad (1.16)$$

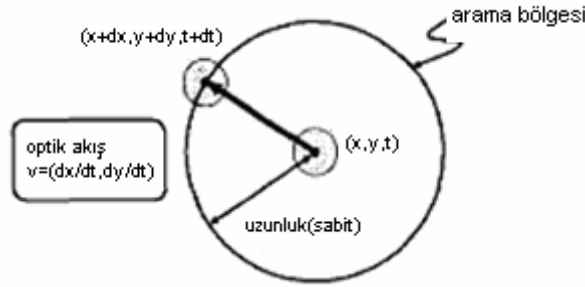
Klasik olarak, hızı belirlemek için görüntüler arasındaki zaman sabit tutulur ve değişken olan uzaklık ölçülür. Bu durumda;

$$v = \frac{\Delta x}{\delta t} \quad (1.17)$$

Diğer taraftan kayma uzaklığı  $\delta t$  sabit tutulur değişken gecikme zamanı aranır;

$$v = \frac{\delta x}{\Delta t} \quad (1.18)$$

Bu durumda, son yöntem arama zamanını düşürdüğü için tercih edilir. O halde sabit bir piksel kayma uzaklığı  $|\delta x| = 1$  piksel olacak şekilde zaman aralığı  $\Delta t$  aranır. Bu uygulamada  $\Delta t_{\max} = 5$  tir.



Şekil 1.30 Doğrusal zamanlı optik akışın temeli (Isiyama ve ark. 2004).

Isiyama ve ark.'nın (2004) çalışmasında korelasyon işlemi: Optik akışı hesaplamak için, bir sonraki görüntüdeki benzerlikleri, bir önceki görüntüdeki her küçük bölgede araştırmak gerekmektedir. Belirtilen çalışmada her küçük alanın benzerliğini hesaplayabilmek için mutlak farkların toplamı (Sum of Absolute Difference-SAD) kullanılmaktadır.

$$SAD(x, y, k, l) = \frac{\sum_{i,j} |I_t(x+i, y+j) - I_{t+n}(x+i+k, y+j+l)|}{w^2} \quad (1.19)$$

Burada görüntü boyutu  $N \times N$ 'dir. Böylece  $0 \leq x, y < N$ ,  $X=(x,y)$  noktasında  $t$  zamanındaki yoğunluk  $I_t(x,y)$  ve  $t+n$  zamanındaki yoğunluk  $I_{t+n}(x,y)$  korelasyon

işleminin pencere boyutu  $W \times W$  dir. Böylece  $i, j$  nin değişim aralığı  $-W/2 \leq i, j \leq w/2$  olur. Araştırma bölgesi alanı  $-D/2 \leq k, l \leq D/2$ . En yüksek korelasyon olarak verilen  $(k, l)$ , optik akışı  $(v = (k, l)^T)$  belirler. Yani en yüksek korelasyon yukarıdaki 2. denklemi minimum yapan  $(k, l)$  tarafından sağlanır. Bu çalışmada  $W=3, D=3, N=64$  kullanılmıştır. SAD değeri 50 ve daha fazla olduğu zaman, bir sonraki çerçeve üzerinde SAD hesaplanır. Burada hedef hareket eden nesnelerin parçalarını bulmaktır. Aynı nesne tarafından meydana getirilen optik akış vektörleri sınıflandırılır. Her optik akış vektörlerine 'n' köşe atanır. Aynı nesnenin köşelerini bağlayan kenar yapılır. Bu yönlerin farkını ve vektörlerin başlama noktasını yerlerini kullanarak kenarlara ağırlıklar atanır. Graftaki kenarı kesmek için açılar ve uzaklıklar seçilir.  $V_i$  ve  $v_j$  hızları arasındaki açısal uzaklık;

$$\phi_a(e_{i,j}) = \arccos(\vec{v}_i \cdot \vec{v}_j) \quad (1.20)$$

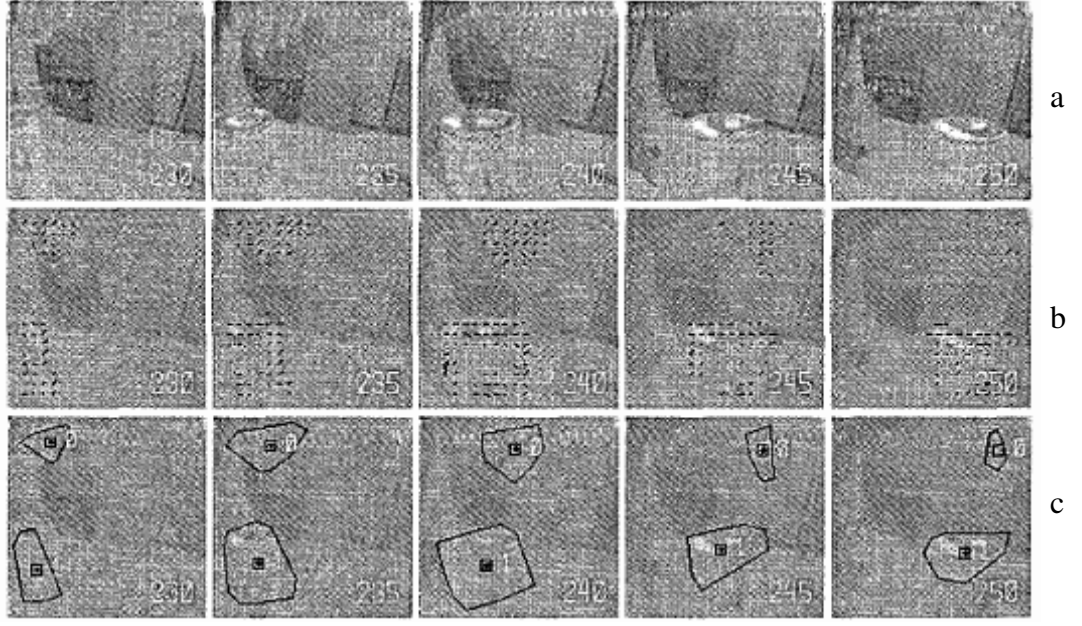
$$\vec{v} \equiv \frac{1}{\sqrt{u^2 + v^2 + 1}}(u, v, 1)^T \quad (1.21)$$

Ayrıca her optik akış vektörünün başlama noktası arasındaki uzaklık şöyle tanımlanır;

$$\phi_d(e_{i,j}) = |x_i - x_j| \quad (1.22)$$

Şekil 1.31'de hareketli nesnelerin, optik akış kullanılarak ayrıştırılması gösterilmektedir. Şekil 1.31(a)'da orijinal görüntü, (b)'de optik akış sonucu, c'de segmentasyon sonucu görülmektedir (Isiyama ve ark. 2004).

Bu yöntemin problemi benzer pozisyon ve harekete sahip olan nesnelerin ayrıştırılmamasıdır. Bu problemi çözmek için, görüntü yoğunluğu ve şeklin modeli kullanılmalıdır.



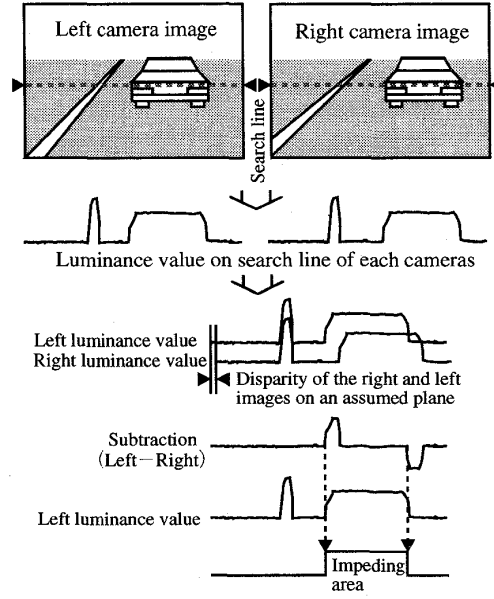
Şekil 1.31 243., 248., 253., 258. ve 263.cü çerçeveler üzerinde nesnelerin ayrıştırılması (segmentasyon). (Isiyama ve ark. 2004).

### 1.3.3. Navigasyonda steryo kamera kullanılması

Görsel navigasyonda engel belirlemek ve yönlendirme sağlamak için çift kamera (steryo vision) kullanan birçok çalışma bulunmaktadır. Kato ve ark.'nın (1996) çalışmasında, yol çizgilerini kullanarak aracı yönlendiren steryo bir sistem kullanılmaktadır. Bu stereo sistem aynı zamanda engelleri tanımak için de kullanılır (şekil 1.32). Bu sistemde engellerin şekillerinden ziyade varlığı algılanmaktadır.

Engel belirleme algoritması stereo sistemdeki sağ ve sol kameralar arasındaki farklılığa dayanmakta ve sadece durgun engeller belirlenmektedir. Hayali bir düzlem üzerindeki (görüntü düzlemi) sağ ve sol görüntülerin farklılığı yükseklikler, açılar, pozisyonlar ve iki kamera arasındaki aralık kullanılarak hesaplanabilir. Eğer sağ ve sol görüntüler bazı bölgelerde eşleşmezse bu bölgeler engelli bölgeler olarak düşünülür (şekil 1.32).

ARGO da stereo tabanlı bir sistemdir (Bertozzi ve Broggi 1999) ve engelin cinsinde bir sınırlama yoktur. Bu sistem engel belirlemede IPM (Inverse Perspective Mapping) kullanır.



Şekil 1.32 Engel belirleme işlemi (Kato ve ark. 1996)

GÖ'ye yönelik bir başka sistem, akıllı gözlük sistemi kullanır ve 'stereo epipolar geometri'ye dayanır (Edwige 2002). Bu sistem yürüyüş alanındaki statik ve hareketli (araç gibi) engelleri, merdivenleri, tanır. Statik engeller 3D 'convex hull' ve yoğunluk-derinlik matrix algoritmaları ile belirlenir. Dinamik engeller ise, modifiye edilmiş dinamik program algoritmaları ile belirlenir.

Edwige'e (2002) göre, 'akıllı gözlük-intelligent glasses' sayesinde statik engel haritası ve dinamik engeller, dokunsal (tactile) bir yüzey üzerinde (genelleştirilmiş Braille hücre) gösterilebilir. Braille hücre ikili (binary) değil, dörder dörder bilgi sağlar (3 tanesi statik engel yeri ve biri dinamik engel için).

Engel belirlemek için önerilen bir stereo sistemde (Hattori 2000) metrik kamera kalibrasyonu ve derinlik araması gerekmez. Birçok klasik stereo sistemde iki büyük sorun 'derinlik araştırması-depth search' ve 'metrik kamera kalibrasyonudur' (Hattori 2000). Stereo görüntüler arasındaki benzerliği bulmak için yapılan bir işlem olan derinlik araştırması veya stereo eşleştirme, büyük hesaplamalar gerektirmekte ve bu nedenle de gerçek zamanlı uygulamalarda kullanımı sınırlanmaktadır. Kamera metrik kalibrasyonu ise, kamera parametrelerinin sayısının hassas bir şekilde belirlenmesidir.

### 1.3.4. Navigasyonda tek kamera kullanan sistemler

Tek kameralı sistemler, daha küçük hacim kapladıkları için, stereo kamera sistemlerine göre görme sensörü olarak tercih edilmiştir (Okada ve ark. 2003). Yalnızca bir kamera kullanarak, robotlar için yapılmış bir engel belirleme çalışmasında (Maja ve ark. 2000) kullanılan yaklaşımda, zemini diğer sabit olan şeylerden ayırmak için segmentasyon tekniği kullanılmaktadır. (Maja ve ark. 2000) eşik değeri için basit bir hesaplama kullanır. Bu sistem kapalı mekanlarda test edilmiştir.

(Maja ve ark. 2000) eşik değerini elde etmek için gri seviye bilgisi kullanılır. Eşik değerinin hesaplanması bakımından (Maja ve ark. 2000) farklıdır. Engel aşma algoritması, harita olmaksızın sadece sensör bilgisinden faydalanır ve sezgisel kural kullanır. Özetle (Maja ve ark. 2000), eşik değerinin farklı bir yöntemle hesaplanması ve çeşitli eşik belirleme yöntemlerinin kıyaslanması üzerinde durmaktadır. Eşik belirleme değeri (Maja ve ark. 2000) de aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Eşik değerini hesaplamak için, basit olarak  $T = \mu - k\sigma$  bağıntısı kullanılır.

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \frac{\sum X}{M}, \\ \sigma &= \sqrt{\frac{(\sum X - \mu)^2}{M}}, \\ T &= \mu - k\sigma \end{aligned} \right\} \quad (1.23)$$

(1.23)'de M piksel sayısı,  $\mu$  aritmetik ortalama ve  $\sigma$  standart sapmadır.

Araç navigasyonu için önerilen ve DGPS ile görsel sisteme dayalı olarak çalışan bir sistem (Satelo ve ark. 2001), yol üzerindeki engelleri tanımak için araç üzerine yerleştirilen bir kamera kullanır. Yolun kestirilmesinde, görüntüde yol kenarları paraboller olarak modellenebilir (Satelo ve ark. 2001). Ayrıca bütün bir görüntünün analizi yerine, yararlı özelliklerinin bulunmasının çok muhtemel olduğu belirli bir bölgenin analizi yapılmaktadır. (Satelo ve ark. 2001) tarafından kullanılan yöntemde segmentasyon tekniği HSI (hue, saturation, intensity) renk dönüşümüne dayanmaktadır. Çünkü HSI insan renk algılaması ile yakından ilişkilidir. Segmentasyon açısından RGB renk uzayı genellikle tercih edilmemektedir.

Pikseller, HSI renk değerlerinin bir fonksiyonu olarak kromatik ve akromatik olarak sınıflanır. Yoğunluk aşırı derecede yüksek veya düşük olduğu zaman ‘hue’ anlamsızdır. Diğer taraftan, saturasyon çok düşük olduğunda ‘hue’ karasızdır. Bu sonuca dayanılarak, akromatik pikseller aşağıdaki denklemde belirtilen şartları sağlayanlardır;

$$I > 90 \text{ veya } I < 10 \text{ veya } S < 10 \quad (1.24)$$

Burada ‘S’ saturasyon, ‘I’ yoğunluktur. Bu değerler sıfır ile 100 arasına normalize edilmiştir.

Bir başka gorsel navigasyon tekniği, bilinen noktalardaki dönüm noktalarını gorsel olarak tanımaya dayanmaktadır (Anderson ve ark. 1985). Dönüm noktalarını tanımak için, genelleştirilmiş hough transform kullanılır (GHT). Dönüm noktaları sınır noktalarının listesi ile tanımlanır. Landmark tanınması sonrasında, o anki pozisyonu belirlemek için üçgen (triangulating) tekniği kullanılmaktadır (Anderson ve ark. 1985). Gorsel sistem bu şekilde pozisyon belirlemek için kullanılmıştır.

Anderson ve ark. (1985) tarafından belirtilen sistem 3 kısımdan oluşmaktadır: eşleştirici (matcher), bulucu (finder) ve seğici (selector). Eşleştirici, GHT kullanarak, görüntüde yön ve ölçeği bilinen bir veya daha fazla landmarkın yerini belirlemekte ve bu pozisyonları bazı kesinlik ölçülerine göre sıralamaktadır. Bu algoritma 3 ana kısımdan oluşmaktadır; kenar noktası belirleme, kenar noktalarının kalıp eşleştirmesi ve eşleştirme sonuçlarının yorumlanması. Bulucu, bir landmark grubunu bulmak için kameranın odak uzaklığını ve yönü kontrol eder ve görüntüde bu dönüm noktalarının bulunması için eşleştiriciyi yönlendirir. Seğici ise bir dizi landmark belirler.

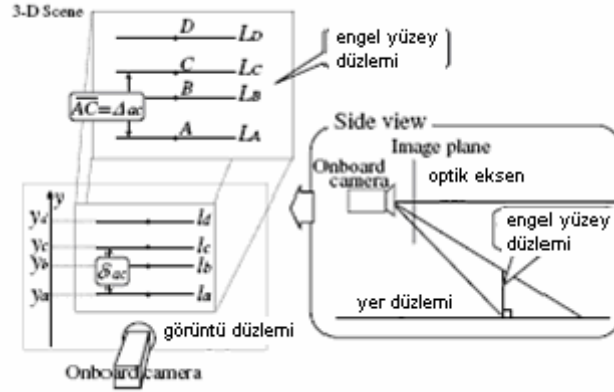
#### **1.3.4.1. İzdüşümsel değişmezlik ilkesini kullanan sistemler**

Akıllı araçlar (adaptif hız kontrol sistemi-ACC-gibi) için kullanılışlı olan bir sistemde (Okada ve ark. 2003) yol üzerindeki diğer araçlar engel olarak düşünölmüş ve entegre (on board) bir gorsel sensör kullanılmıştır.

Tipik hareket tabanlı engel sezme yöntemleri zemin düzleminin hareketini değerlendirir ve hareketleri zemin düzlemininkinden farklı olan engel bölgelerini algılar (Okada ve ark. 2003). Bu yöntemlerde temel varsayım, hem zemin düzlemi üzerinde hem de engeller üzerinde yeterli sayıda özellik noktasının var olduğudur. Oysa gerçek yer düzleminde çok az sayıda özellik noktası bulunmaktadır. Hareket tabanlı engel belirlemede genel bir yaklaşım, bir görüntü dizisindeki hareketlerden bir sahnenin 3D yapısını elde etmek olabilir. Bu hareketler, farklı görüş açılarından alınan bir görüntü çifti üzerindeki noktalar arasındaki benzerlikleri bularak hesaplanabilir .

Bu sistem (Okada ve ark. 2003), zemin düzlemi üzerindeki engellerin belirlenmesinde, bir izdüşümsel değişmez olduğu bilinen çapraz oranı kullanır. Çapraz oran, 4 paralel doğru (A,B,C,D) arasında aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$I_{ABCD} \equiv \frac{\overline{AC}}{\overline{AD}} \cdot \frac{\overline{BD}}{\overline{BC}}$$



Şekil 1.33 Projective invariant (izdüşümsel değişmez) ile engel belirleme (Okada ve ark. 2003).

Kameranın konfigürasyonu göz önüne alındığında, engel düzlemi olarak isimlendirilen engel yüzeyi, yaklaşık olarak zemine dik bir düzlem olarak tanımlanmıştır ve zemin düzlemi optik eksene paraleldir. Şekil 1.33'de, 4 paralel nokta ve bir engelin düzlem yüzeyindeki 4 eşdüzlemsel yatay paralel doğru parçası görülmektedir. Engel düzlemindeki paralel doğrular arasındaki uzaklık ile bunların görüntü düzlemindeki karşılığı olan doğrular arasındaki uzaklıklar arasındaki çapraz oranlar sabittir;



$$I_{ABCD} = \frac{\Delta_{ac}}{\Delta_{ad}} \cdot \frac{\Delta_{bd}}{\Delta_{bc}} = \frac{\sigma_{ac}}{\sigma_{ad}} \cdot \frac{\sigma_{bd}}{\sigma_{bc}} \quad (1.25)$$

Burada  $\delta_{ac} = y_a - y_c$  (ve diğerleri benzer şekilde).

Aynı düzlemde bulunan 4 paralel yatay doğru parçası  $L_A, L_B, L_C, L_D$  içeren bir düzlem,  $t_1$  ve  $t_2$  zamanı arasında hareket ederken, bu doğruların çapraz oranı (cross ratio) korunur.

$$\frac{\sigma_{ac}(t_1)}{\sigma_{ad}(t_1)} \cdot \frac{\sigma_{bd}(t_1)}{\sigma_{bc}(t_1)} = \frac{\sigma_{ac}(t_2)}{\sigma_{ad}(t_2)} \cdot \frac{\sigma_{bd}(t_2)}{\sigma_{bc}(t_2)} = I_{ABCD} \quad (1.26)$$

Bu ifade 4 düzlemsel yatay doğru parçası için bir hareket sınırlamasıdır. Bu 4 yatay doğru parçasından herhangi biri bir engel düzlemine ait ve diğerleri zemin düzlemine ait ise, böyle 4 paralel yatay doğru parçası grubu hareket sınırlama denklemini sağlamamaktadır. Çünkü doğru parçaları aynı düzlem üzerinde değildir. Bu sonuca göre, düzlemsellik koşulunu test etmeye dayalı engel belirleme yöntemi, hem zemin düzlemi üzerinde hem de engel üzerinde yatay doğru parçaları ve köşeler içeren dokuya gereksinim duymaktadır (Okada ve ark. 2003).

Okada ve ark.'nın (2003) çalışmasında kullanılan yöntemde engeller, zemin düzleminde özellik noktası olmadan da belirlenebilmektedir. Bunu sağlamak için sonsuzda birleşen çizgiler (vanishing lines) bir önbilgi olarak kullanılmaktadır.

#### 1.3.4.2. GÖ'ye yönelik, PC ve mikrobilgisayar kullanan bir sistem

Kamera ile birlikte bir mikrobilgisayar, laptop bilgisayar, pedometre (yürüyüş mesafesi ölçer) ve magnetik sensör içeren taşınabilir bir navigasyon sistemi GÖ için önerilmiştir (Kaluvahandi ve Tadokoro 2001). Bu sistemde yön bilgisi magnetik sensör ile ölçüldüğü için, magnetik alandaki bozulmalar (araçlar vb.) nedeni ile bazı yerlerde kullanılamamaktadır. Bu dezavantajı telafi etmek için, bu sisteme görüntü işleme eklenmiştir (şekil 1.34). Önerilen sistemde mikrobilgisayar, pedometre ile mesafe ve görüntü işleme (kamera ve laptop bilgisayar kullanılarak) ile ölçülen yön verisini kullanarak konum ölçer. Sonra hedefe ulaşmak için daha önceden kaydedilmiş

(depolanmış) güzergah yolu ile bu konumu kıyaslar. Uygun kılavuz bilgileri sesleri ve çevre bilgisi, kıyaslanan verinin farkını azaltacak şekilde GÖ'ye hoparlörden verilir. Depolanmış güzergah verisi koordinat verisidir ve komşu düğümler arasını birleştiren doğru parçaları, güzergah yolu olarak ortaya çıkarılmaktadır.

Kaluvahandi ve Tadokoro (2001) tarafından önerilen sistemde yaya geçitleri harita eşleştirme kullanan bir sistemle belirlenmektedir. Görüntü işleme teknikleri sadece GÖ'ye kılavuzluk (karşıdan karşıya geçerken) etmektedir.

Kaluvahandi ve Tadokoro' e 2001 göre, dönüm noktalarını algılamak için kullanılan görüntü işleme teknikleri binarizasyon, temsil (representation) ve etiketlemedir (labeling). Tek bir görüntü kullanılarak landmark pozisyonu (uzaklığı ve yönü) GÖ'ye iletilmektedir. Buna yönelik olarak, en başta kameranın fotoğraf çekme uzaklığı ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda görüntü uzaklığı ve gerçek uzaklık arasındaki ilişki elde edilmektedir.

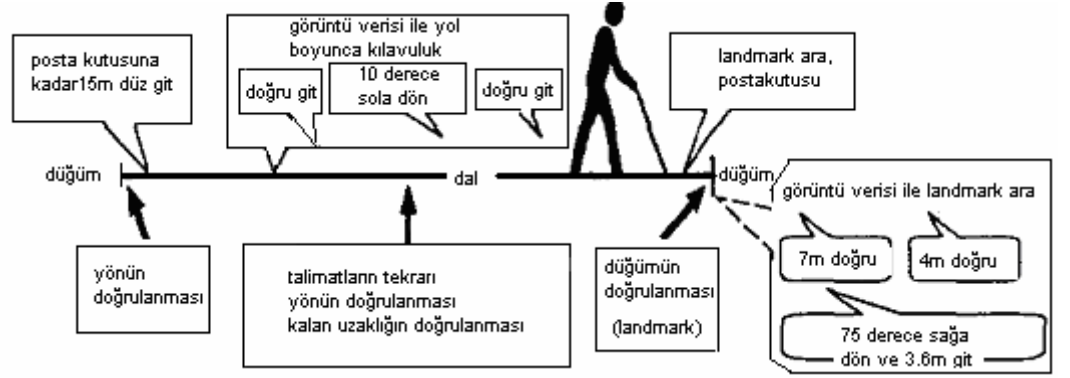


Şekil 1.34 GÖ için önerilen taşınabilir bir navigasyon sistemi (Kaluvahandi ve Tadokoro 2001)

Landmark pozisyonu, görüntüdeki landmark merkezi tarafından belirlenmiştir. Landmark pozisyonu belirlendiğinde, görüntü önce 3 düşey parçaya bölünmektedir. Landmark olarak görüntüdeki bir posta kutusunu diğer nesnelere soyutlamak için, binarizasyon işlemi sadece kırmızı renk bileşeni için uygulanır. Bunun için 24 bitlik RGB görüntünün kırmızı bileşenlerinden hesaplanan bir eşik değeri kullanılır. Önce görüntüye temsil işlemi uygulanır. Böyle bir algoritma, bütün görüntüyü soldan sağa

doğru tarayarak posta kutusunu belirler (şekil 1.35). Bunun için yatay doğrultu boyunca ilişki ve aynı değerli (binary) piksellerin varlığı aranır.

Şekil 1.34'deki navigasyon sisteminde, görüntüdeki bir elektrik direğini belirlemek için, önce gökyüzünü ve direk çevresindeki yeşilliği kaldırmak için binarizasyon uygulanır. Direk düşey bir doğru içindeki max. ilişkili pikseller olarak belirlenir. Şekil 1.35'de bu navigasyon sisteminde kullanılan yönlendirme talimatları görülmektedir.



Şekil 1.35 Navigasyon işlemi (Kaluvahandi ve Tadokoro 2001)

### 1.3.4.3. Renk ayırımına dayalı engel belirleme

(Bidlack ve ark. 1994)'de engel bilgisi bir kamera ile çıkarılmaktadır. Engellerin görsel olarak kolayca arka plandan (çimenlik) ayırt edilebildiği varsayılmaktadır. Engel belirleme renge dayalı yapılı; çimen üzerinde yeşil olmayan her nesne bir engel olarak kabul edilir. Bu nedenle öncelikle çevrenin renkli görüntüsü elde edilir. Çim üzerindeki çizilmiş beyaz izler-patikalar (track) ve engeller görüntüde ayrılır (segmentasyon).

'Flat Earth Model' ve 'shadow projection' kullanılarak görüntü düzlemindeki engeller 3D grid'de ifade edilir (mapping) (şekil 1.42). Grid kullanılarak 'polar histogram' hesaplanır ve doğrultu açısı elde etmek için, polar histogram işlenir. Engeli arka plandan ayırmak için (yeşili baskın yaparak) 'opposed green-OG- detection' algoritması her piksele aşağıdaki işlem uygulanır;

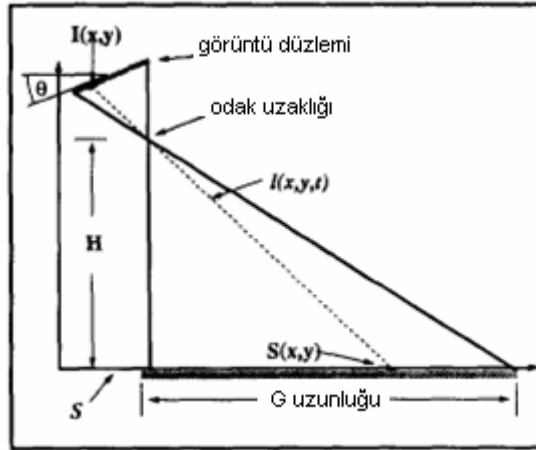
$$OG(x,y)=2*G-R-B \quad (1.27)$$

OG'nin histogramı iki modellidir (bimodel). Her görüntü için eşik değeri otomatik olarak 'Kittler ve Illingworth' algoritması ile seçilir. 'Flat Earth Model', görüntüsü alınan (görünebilir) bölgeyi, robot tekerleklerinin yere temas ettiği 4 nokta ile belirlenen ideal bir düzlem yüzey olarak tanımlar.

Görüntü üzerindeki bir  $I(x,y)$  noktasının yer yüzeyindeki karşılığı  $S(x,y)$  olsun.  $S(x,y)$  noktası  $S$  yüzeyi ile  $l(x,y,t)$  doğrusunun arakesit noktasıdır.  $l(x,y,t)$  doğrusu ise kameranın odak merkezi,  $F$  ve görüntü noktası  $I(x,y)$  ile belirlenir.  $l(x,y,t)$  ile  $S$  yüzeyinin arakesiti 3D  $S(x,y)$  noktasını verir. Arakesitteki  $t$  parametresinin değeri;

$$t_i = \frac{-(D + A.x1 + B.y1 + C.z1)}{A.(x1 + x2) + B.(y1 + y2) + C.(z1 + z2)} \quad (1.28)$$

Burada  $A$ ,  $B$  ve  $C$ ,  $S$  yüzeyinin ( $S(x, y) = l(x, y, t_i)$ ) düzlem denklemi sabitleridir,  $x1$ ,  $y1, z1$   $F$  odağının merkezinin koordinatlarıdır,  $x2$ ,  $y2$ ,  $z2$  ise görüntü noktası  $I(x,y)$ 'nin koordinatlarıdır (şekil 1.28). 'Grid', görüntü düzlemindeki noktaların yer yüzeyindeki karşılık gelen noktalarını depolamak için kullanılan ayrıklaştırılmış (discretized) depolamadır.



Şekil 1.36 Görüntüden "grid"e haritalama (Bidlack ve ark. 1994)

'Flat Earth Model' kullanılarak görüntü düzlemindeki bütün noktalar (pikseller) 'G' de gösterilebilir (mapped) (şekil 1.36). 'G' ayrık bir 'grid' olduğundan, parametrelerinden birisi çözünürlüğüdür. 'G' nin çözünürlüğü o şekilde seçilmelidir ki

görüntüdeki her piksel grideki (G) tek bir pozisyona karşılık gelsin. Görüntüdeki farklı nesnelere 'G' de farklı ağırlıklar atanabilir. Bu şekilde yol pikseli ile engel pikseli farklı yapılabilir.

Yol sınırı ve engel belirlemek için bir yaklaşım sunan Capello ve ark.'de (1994) aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

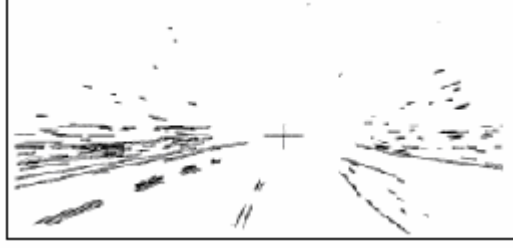
- Yol doğrusal ve genişliği sabittir
- Engeller ve binalar yaklaşık olarak kenarları dik veya paralel olan katı yapılarıdır. Ayrıca engel kenarları yola dik veya paraleldir.

#### **1.3.4.4. Engel belirlemede kenar gruplama yöntemi**

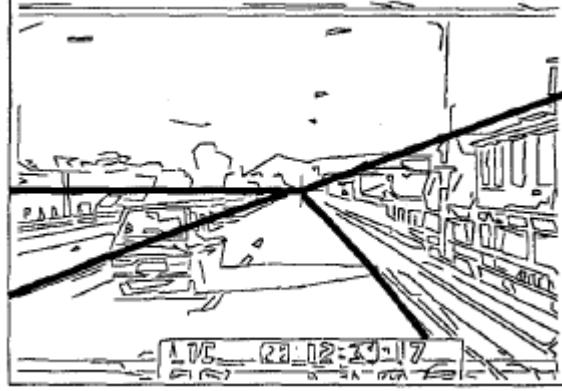
Capello ve ark.'nın (1994) kullandığı yaklaşımda, kenar zinciri grubu iki sınıfa ayrılmaktadır. Kenar zincirleri öncelikle poligonal (çok köşeli) doğru parçalarına (doğrusal ve birbirine paralel) yaklaştırılır ve sonra iki gruba ayrılır. Bu gruplar 3 VP'ye (vanishing point) yakınsayanlar (VP ye doğru yönelmiş doğrular) ve diğerleridir. İlk grup binalar gibi insan yapımı nesnelere perspektif izdüşümü olma olasılığı olan parçaları bir araya getirir. Bu parçalar ayrıca, VP'ye yakınsayan yatay, düşey ve eğik doğru parçaları olarak sınıflanabilir (şekil 1.37). İkinci grupta toplanmış olan parçalar (segment) ise ağaç, insan ve bulut gibi nesnelere izdüşümüdür.

Yol sınırlarını belirlemek için gözden kaybolan noktalar (Vanishing points-VP) tesbit edilir. Yol kenarlarını belirlemek için orta VP kullanılır. Merkez VP ye yakınsayan eğik segmentler yol bölgesini belirlemede kullanılır.

Capello ve ark.'de (1994) önerilen sistemde yol içindeki diğer araçlar engel olarak belirlenmiştir. Çevrenin 3D tasvirini elde etmek için, yol çevresindeki binaların belirlenmesi faydalıdır. Binaların üst sınırı belirlenebilir eğer böyle bir üst sınır yoksa binanın olmadığı sonucuna varılır. Bu yöntem kullanılarak, merkez VP den başlayan ve yolu, gökyüzünü ve bina ve diğer nesnelere bulunabileceği iki bölgeyi belirleyen 4 adet doğru çizilebilir (şekil 1.38).

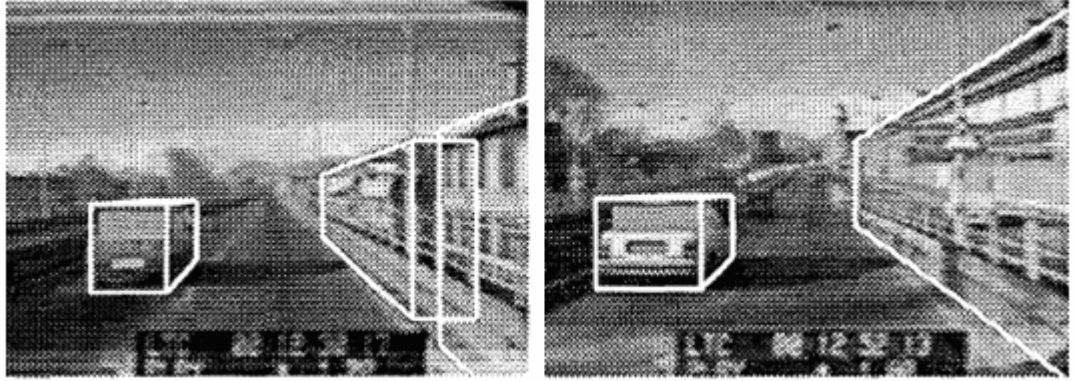


Şekil 1.37 Kenar gruplama (Capello ve ark. 1994)



Şekil 1.38 Çevrenin bölümlenmesi (Capello ve ark. 1994)

Yol bölgesi içinde yatay ve dikey kenarların uygun ve tipik bir kombinasyonu bulunduğunda bu bir engel olarak tanımlanır ve engeli temsil eden bir kutu elde edilir (şekil 1.39). Nesnenin araç olup olmadığına karar vermek ve gölge, yol bölgesinin süreksizliği gibi nedenlerle yanlış tespit olmaması için aracın plakası ve arka penceresi belirlenmektedir (şekil 1.39).



Şekil 1.39 Engellerin ve binaların belirlenmesi. (Capello ark. 1994)

### 1.3.5. Görüntü dizisi kullanan navigasyon sistemleri

İç mekanlarda çalışacak robotlar için geliştirilmiş bir sistemde eğitim aşamasında robota, bir yol boyunca cepheden çekilen görüntü dizisi verilir ve bunlar belleğe alınır (Matsumoto ve ark. 2000). Çevrenin tanınması, o anda alınan görüntünün daha önceden hafızaya alınan (ezberlenmiş) görüntülerle eşleştirilmesine dayanır. Bu sistemin çalışması iki aşamadan oluşur; görüntü kaydı ve otomatik hareket (şekil 1.40)

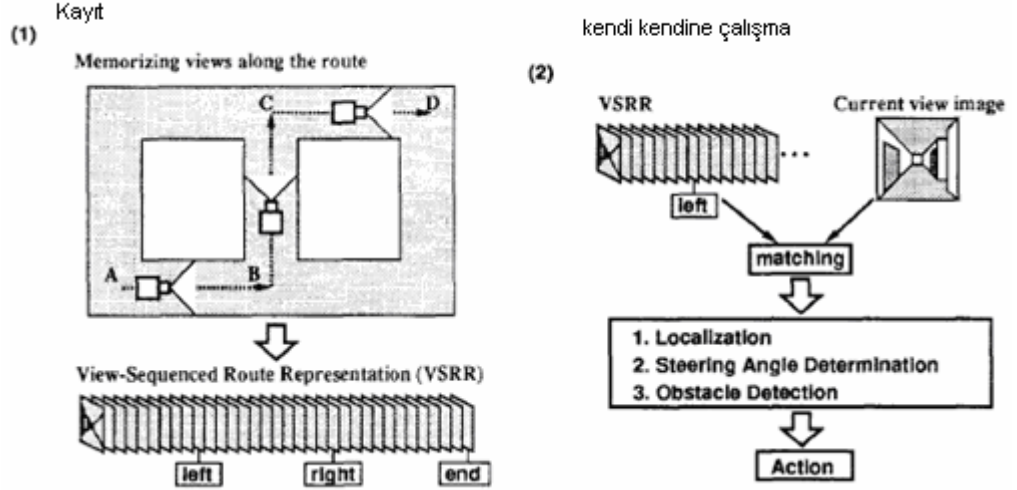
Sıralı görüşte (view sequence), ardışıl görüntüler bir yol veya bir koridor boyunca belli aralıklarla alınmıştır (Matsumoto ve ark. 2000). Robot öncelikle bir insanın eşliğinde yol güzergahını bu şekilde kaydeder (recording run). Sonra kendi kendine çalışmada (*autonomous run*), bellekteki görüntü ile o anda alınan görüntü kıyaslanarak robot yerini belirler ve engelleri tespit eder (şekil 1.40). İki görüntünün benzerliğinin hesaplanmasına eşleştirme işlemi denilmektedir. Eşleştirme işlemi basit bir blok eşleştirme işlemidir. Bu eşleştirmede kalıp (template) olarak merkez dikdörtgen parçası, o anda alınan görüntü ise, araştırma bölgesi (search area) olarak kullanılmaktadır (şekil 1.41).

$I_1$  ve  $I_2$  görüntüleri arasındaki eşleştirme hatası ' $e$ ' aşağıdaki gibi tanımlanır:

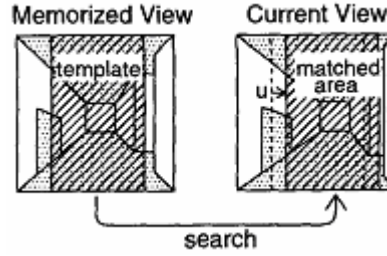
$$e(u) = \sum_{x=s}^{w-s} \sum_{y=0}^h |I_1(x, y) - I_2(x+u, y)| \quad (1.29)$$

$$e = \left\{ \min e(u) \mid -s \leq u < s \right\}$$

(1.29) ifadesinde ' $w$ ', ' $h$ ' sırası ile, görüntünün genişlik ve yüksekliğidir.  $I_1(x,y)$  ve  $I_2(x,y)$  ise,  $(x,y)$  noktasındaki yoğunluklardır. ' $s$ ' yatay arama alanıdır. Matsumoto ve ark.'de (2000)  $w,h,s$  sırası ile 32, 32, 8 olarak belirlenmiştir. Kalıp ise 16x32 boyutludur. Yatay tarama alanı  $-8 < u < 8$  aralığındadır.

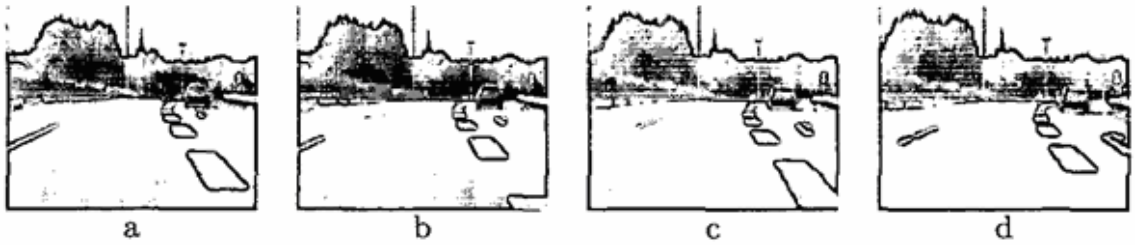


Şekil 1.40 Görünüş dizisi kullanan bir navigasyon sistemi (Matsumoto ve ark. 2000).



Şekil 1.41 İki görünüş arasında eşleştirme işlemi (Matsumoto ve ark. 2000)

Düzlemsel bir yol üzerindeki engelleri belirleyen başka bir çalışmada, yine görüntü dizisi kullanılmıştır (Feiden ve Tetzlaff 2002) (şekil 1.48). Bir araca tespit edilmiş bir kamera ile belli zaman aralıkları ile sıralı görüntü dizisi alınır. Bu görüntülerle istatistiksel yöntemler kullanılarak güvenli bir hareket kestirimi yapılabilir ve böyle bir hareket kestirimine dayanarak, engel tanınabilir (Feiden ve Tetzlaff 2002).



Şekil 1.42 Tek kamera ile alınan ardışıl görüntü dizisi (Feiden ve Tetzlaff 2002)

İstatistiksel yöntemde, ilk adım önemli (iyi ayırt edilen) bir görüntü bölgesi araştırmaktır. Sonra sıralı görüntülerde bu bölgenin yer değiştirme miktarı, yer



değiştirme vektörü kestirimi -displacement vector estimation- olarak bilinen bir yöntemle hesaplanır. Bundan sonra, belirlenmiş yer değiştirme vektörleri listesi 3D hareket parametrelerini ve düzlemin normal (dik) vektörünü hesaplamak için kullanılabilir. Son olarak hesaplanmış parametreler, bir hareket kompanzasyonunu uygulamak için kullanılır, bunun sonucunda sadece 3D yapıların görüldüğü ve caddeyi temsil eden düzlem dokusunun kaldırıldığı bir görüntü elde edilir (Feiden ve Tetzlaff 2002).

İki görüntü arasındaki benzerliklerin hesaplanması çok zaman gerektiren bir işlem olduğundan, eşleştirme işlemini, sadece benzerliklerin kolayca ve güvenli bir şekilde belirlenebileceği bölgelerle sınırlamak esastır (Feiden ve Tetzlaff 2002). Bu işlem iki adımdan oluşur:

1. Bir görüntüdeki karakteristik noktaların çıkartılması (feature point extraction)
2. Ve onu takip eden blok eşleştirme (block matching)

Önemli noktaların çıkartılması için çok sayıda yöntem önerilmiştir. Feiden ve Tetzlaff'e (2002) göre, karakteristik noktası çıkartımı yönteminin biraz değiştirilmiş halidir. Çünkü bu yöntem hem teorik olarak kesindir hem de uygulamada güçlüdür. Bu operatörün temel fikri;

1. Sınırlı bir görüntü bölgesinde gradyen kestirimini hesaplamak,
2. Ve hesaplanan gradyen kümesinin kovaryans matrisinin özdeğerlerini hesaplamaktır.

Kovaryans matrisinin izi doku içeriğinin bir ölçüsünü verir (Feiden ve Tetzlaff 2002). Buna karşılık gradyen dağılımının eş yönlülüğü (isotropy), kovaryans matrisinin özdeğerlerinin ilişkisi ile karakterize edilir. Bu işlemin sonucunda, köşeleri kenarlarından daha belirgin olan ve sonraki yer değiştirme vektörünün kestiriminde önemli olan bir görüntü (prominentness image) elde edilir.

Yer değiştirme vektörünün kestirimi genellikle bir çeşit blok eşleştirme yöntemi ile yapılır. Blok eşleştirme esas olarak bir benzerlik analizidir. Bu analizde bir

görüntüdeki  $b1$  referans bloğu ile bir sonraki görüntüde buna karşılık gelen  $b2$  bloğu arasındaki gri seviye farkları bir araştırma bölgesi içinde değerlendirilir.  $b2$  bloğu bütün araştırma bölgesi boyunca kaydırılır ve gri seviye farklarının toplamı bir hata yüzeyi oluşturur bu yüzeyin doğru yer değiştirme pozisyonunda sıfır olması beklenir. Fakat gürültü nedeni ile hiçbir zaman sıfır olmaz. Yer değiştirme vektörünü belirlemek için bir çözüm yolu hatanın minimum oldu pozisyonu almaktır. Başka bir yöntem, artan gri seviye farklarının bölgesel bir olasılık dağılımına dönüştürülmesi ve sonra yer değiştirme vektörünün kovaryans matrisi ile beklenen değeri irdelemektir. Bu yöntemle her bir benzerlik ve yer değiştirme vektörü için tek bir doğruluk ve güvenlik ölçümü elde edilebilir.

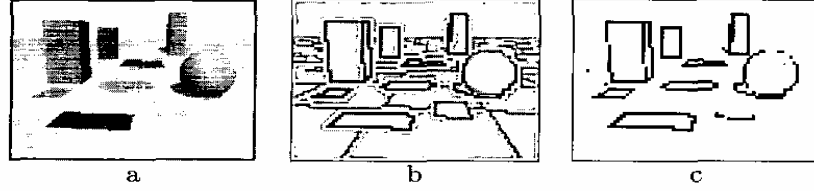
Hareket analizi ve engel belirlemek için hareket kompanzasyonu yapılmış fark görüntüleri kullanılabilir. Bu işlemin temel fikri görüntüdeki her pikseli bir görüntü geriye dönüştürmektir. O zaman dönüştürülen ve kaydedilen görüntüler arasındaki farkın hesaplanması gerekir. Görüntü içeriği düzlemsel modele uygun ise hareket kompanzasyonlu fark görüntü homojendir (gri). 3D nesnelere ise bu fark görüntüde göze çarpar.

Feiden ve Tetzlaff'de (2002) engellerin doğrudan belirlenebilmesi için başka bir yöntem daha önerilmiştir. Bu yöntemde doğrusal olmayan CNN kullanılarak düzlemsel bir yol üzerindeki bütün dokusal yapılar kaldırılmış ve sadece bu düzlem üzerindeki nesnelere kenarları elde edilmiştir (şekil 1.44). Doğrusal olmayan CNN aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Feiden ve Tetzlaff 2002).

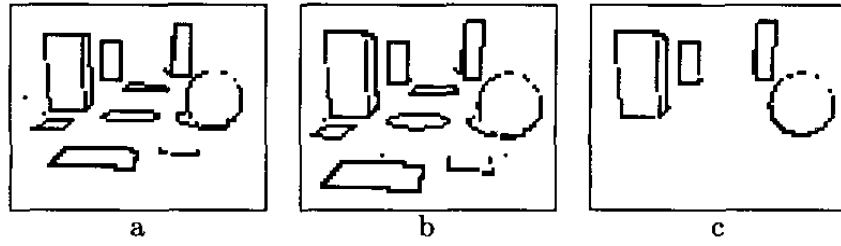
$$C \cdot \frac{dx_i(t)}{dt} = -\frac{1}{R} x_i(t) + \sum_{j \in N_i(k)} a_{i-j} (y_j(t)) + \sum_{j \in N_i(k)} b_{i-j} (u_j(t)) + I \quad (1.30)$$

Burada amaç ardışıl iki görüntü kullanarak 3D nesnelere ortaya çıkartma yeteneğine sahip olan bir CNN bulmaktır. Düzlem üzerindeki bütün görüntü yapılarının CNN ile silinmesi beklenir. Böylece sadece 3D yapılar olası engel olarak kalır. Böyle bir sınıflamanın sadece köşe pikselleri (doku köşeleri ayrıca nesne köşeleri) üzerinde uygulanabileceği olası görülmektedir. Çünkü birbirini takip eden görüntülerde sadece bu pikseller değişmektedir.

Şekil 1.43’de sentetik oluşturulmuş 3D nesnelere içeren ve hareketli bir kamera ile kaydedilmiş görüntülerin işlenmesi gösterilmiştir. Şekil 1.43’de (a) Orijinal görüntü, (b) CNN ile belirlenen kenar görüntüsü, (c) eşikten geçirme sonrasında elde edilen görüntüdür.



Şekil 1.43 CNN ile belirlenen kenar görüntüsü (Feiden ve Tetzlaff 2002).



Şekil 1.44 Eşikten geçirilmiş eğitim görüntüleri ve referans görüntü (sırası ile a,b,c) (Feiden ve Tetzlaff 2002)

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. GÖ'ye Yönelik Geliştirilmiş Yol Yardım Sistemlerinin Problemleri

GÖ insanlar için önerilen GPS tabanlı yol yardım sistemlerinin en önemli eksiklikleri; GPS pozisyon hataları, pozisyon bilgisinin bir sebeple kaybolması ve dinamik engel bilgilerinin eksikliği olarak sıralanabilmektedir. Dinamik engellerin tanınmasına, pozisyon hatalarına, pozisyon yokluğuna ve bunların çözümüne yönelik olarak yapılan çalışmalara 2. Bölümde değinilmiştir. Bu problemler robot navigasyon problemleri ile paralel olarak düşünüldüğünden, 2.ci Bölümde konu ile ilgili olan robot navigasyon çalışmalarından da bahsedilmiştir.

Genel olarak GPS/DGPS tabanlı navigasyon sistemlerine bakıldığında, pozisyon hataları veya kaybı problemlerini çözmek için birden fazla pozisyon belirleme sisteminin yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir (Hashimoto ve ark. 2001, Kotani ve ark. 1998, Loomis ve ark. 1998, Loomis ve Golledge 2001, Shinoda ve ark. 1996, Yamasaki ve ark. 2000). Bunlar INS veya DR yöntemleridir. Bunun yanında pozisyon belirlemek için GPS yerine, farklı pozisyon belirleme sistemleri kullananlar da bulunmaktadır (Kaluvahandi ve Tadokoro 2001). Yapılan çalışmalardan bir kısmı, pozisyon kaybindan ziyade sadece pozisyon hatalarının azaltılması veya ortadan kaldırılmasını hedeflemiştir (Feiden ve Tetzlaff 2002). GÖ navigasyon sistemlerinde pozisyon belirleme tekniklerini ve bunların analizini konu alan çalışmalarda (Virkesve ark. 2004), GÖ için kullanılan sistemlerde pozisyon belirleme teknikleri 'mutlak ve nispi teknikler' olarak ikiye ayrılmaktadır. Mutlak pozisyon teknikleri ise, kendi içinde zaman gecikmesine dayanan (time advance-TA), sinyalin ulaşma zamanı veya ulaşma zamanı farkına dayanan (Time of arrival-TOA), alınan sinyal şiddetine dayanan ve hücre tipi (cell type information), olmak üzere dörde ayrılmaktadır.

Navigasyon sistemlerinde ultrasonik prensipler hem pozisyon belirleme/ yönlenme hem de engel belirlemek amacıyla kullanılmıştır. (Blenkhorn ve Evans 1997) de belirli yerlere konmuş, pozisyon belirleyen ultrasonik vericiler kullanılmıştır. (Koshi ve ark. 1992) de ise, trafik işaretlerinin durumunu ultrasonik bir verici ile GÖ'nün

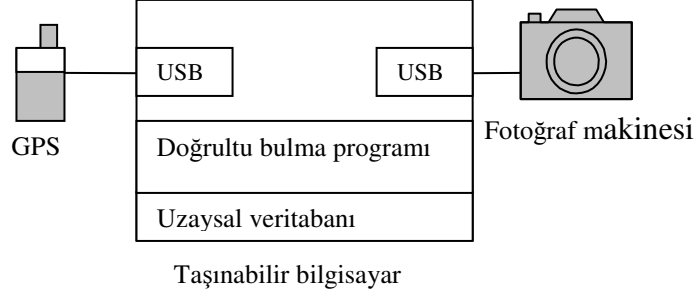
taşıdığı alıcıya bildiren bir sistem kullanılmıştır. Bazı sistemlerde ise ultrasonik prensipler engel belirlemek için kullanılmıştır (Baterseh ve ark. 1997, Gao ve Lie 1997, Hoydal ve Zelano 1991, Ulrich ve Borenstein 2001). Bu gibi sistemlerde engel belirlemede, engelden yansıyan ultrasonik sinyalin gidiş dönüş zamanından (Time of Arrival-TOA) yararlanılmıştır. Bunlardan başka ultrasonik ve pyroelektrik sensörlerin birlikte kullanıldığı bir sistem canlı (insan) ve cansız nesnelere tanımak için kullanılmaktadır.

Pozisyon ve engel belirleme probleminin yanında, GÖ'nün yönünün veya bakış açısının belirlenmesi de önemlidir. Bakış yönünün belirlenmesinde pusula en yaygın kullanılan araçtır. Yapılan çalışmada GÖ bakış yönünün bulunması problemi üzerinde durulmuştur. Bu problemi çözmek için çevreye ait uzaysal veritabanı bilgisi ve çevreye ait kamera görüntüsü kullanılmaktadır.

## **2.2. GÖ İçin GPS Tabanlı Kamera Destekli Doğrultu Bulma Sisteminin Bileşenleri**

Bu çalışmada, GÖ'nün bakış yönünü belirleyebilmek için, uzaysal veritabanı bilgisi ile kamera görüntüsü kıyaslanmaktadır. Sistemin temel elemanları, belirli zaman aralıkları ile görüntü alabilen digital bir fotoğraf makinesi ile içinde uzaysal veritabanı bilgilerinin de yer aldığı sırtta taşınabilen bir bilgisayardır. GPS'den alınan pozisyon bilgileri bir miktar hata içermektedir. Bu hataya rağmen, birkaç derecelik bir hata ile doğrultu bulunabilmektedir. Bu kabul edilebilir bir hatadır. Fotoğraf makinesinin GÖ'nün beline bağlandığı, fazla hareket etmediği ve belli aralıklarla görüntü alabildiği varsayılmaktadır. Bu zaman aralığı programın sonuçlanma süresine bağlıdır. Uzaysal veritabanı ise, bölgede bulunan yapı ve yol sınır koordinatlarını ve bu koordinatlara ilişkin bilgileri içermektedir. Bu çalışmada doğrultu bulma programı gerçekleştirilmiştir. Alt bölümlerde bu algoritmanın ayrıntıları yer almaktadır.

Şekil 2.1'de sistemin bileşenleri görülmektedir. Sistemde, görüntü almakta kullanılan bir fotoğraf makinesi, birer saniye aralıklarla pozisyon verisi sağlayan bir GPS ve bir PC bulunmaktadır. PC belleğinde, istendiği zaman erişilebilen ilgili veritabanı bulunmaktadır.



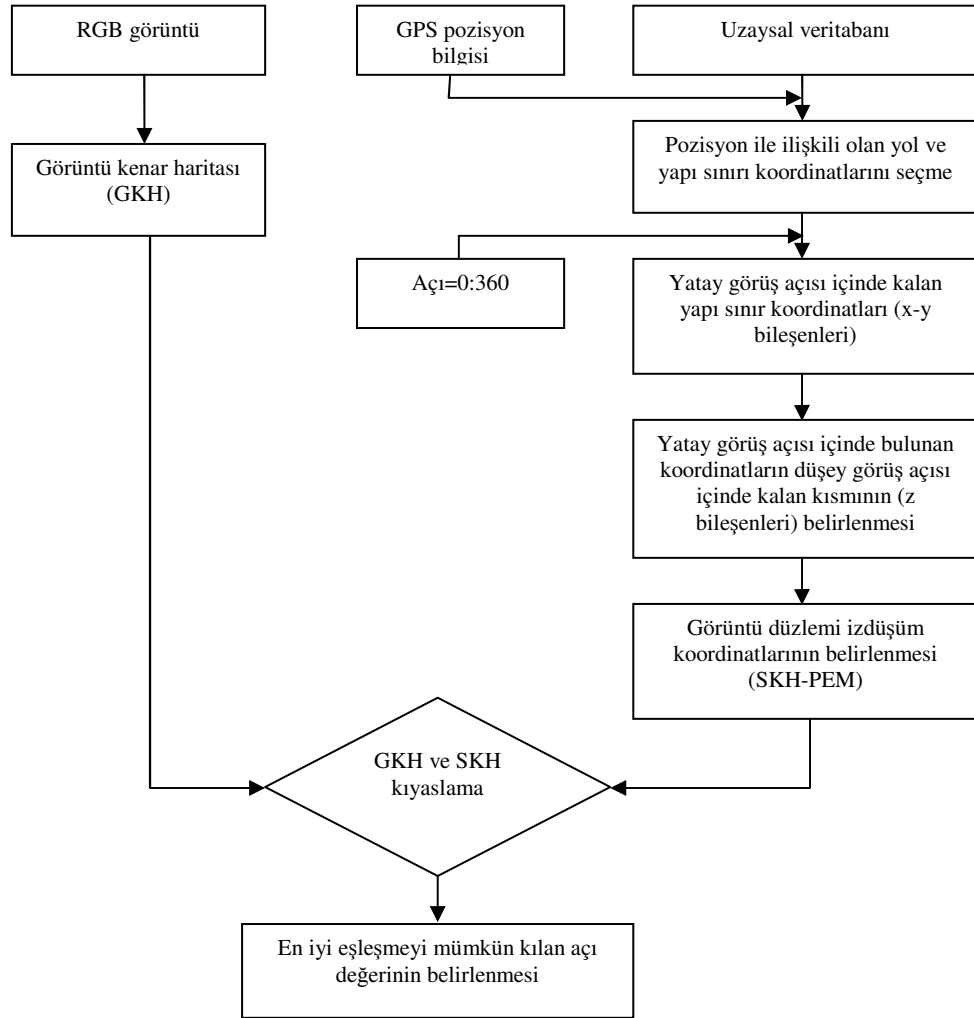
Şekil 2.1 GÖ için doğrultu bulma sisteminin bileşenleri

### 2.3. Genel Hatları ile Doğrultu Bulma Algoritması

Bu algorithmada, veritabanı bilgisine dayanılarak bir çevre modeli oluşturulmakta ve bu çevre modeli, kamera görüntüsünden elde edilen kenar haritası ile kıyaslanmaktadır (şekil 2.2). Çevre modelini elde etmek için yapı sınır bilgileri kullanılmaktadır. Bu sınır bilgileri uzaysal veritabanından elde edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen çevre modeline '**Sözde Kenar Haritası-SKH (Pseudo-edge Map-PEM)**' denmektedir. Çünkü bu model, çevrenin göz önüne alınan kısmının ideal bir kenar haritası olarak düşünülebilir. Bu modelde yapıların sadece düşey kenarları bulunmaktadır.

Gerçek bir görüntünün kenar haritasında düşey kenarlar süreksiz olabilmekte ve birden fazla sütun üzerinde bulunabilmektedir; SKH'da bulunan düşey kenarlar ise aynı bir sütun üzerinde ve süreklidir. Burada 'sürekli olma', boşluksuz olmayı ifade etmektedir. GKH, SKH ile kıyaslandığından, bu süreklilik önemlidir ve algoritmanın başarımında önemli bir faktördür.

Şekil 2.2'deki algoritmanın girdileri kameradan elde edilen RGB görüntü, uzaysal veritabanı ve GPS pozisyon bilgisidir. Algoritma temel olarak iki koldan oluşmaktadır. Bu kollardan birisi GKH'nın, diğeri ise SKH'nın elde edilme işlemlerini göstermektedir. Bu algorithmada genel hatları ile belirtilen işlemler, diğer bölümlerde ayrıntıları ile açıklanmaktadır. SKH'nın elde edilmesinde, öncelikle GPS pozisyonu ile ilişkili olan yapı koordinatları göz önüne alınmaktadır. Daha sonra bu koordinatlar arasından yatay ve düşey görüş açısı içinde kalanlar seçilmekte ve bu uzaysal koordinatlara ilişkin izdüşüm matrisi belirlenmektedir. Algorithmada SKH ve GKH sütun bazında eşleştirilmektedir.



Şekil 2.2 GKH ile SKH'nın kıyaslanması yolu ile bakış açısının bulunmasına ilişkin algoritma

#### 2.4. GKH ve Kıyaslamadaki Önemi.

Bu tezde esas olarak, GÖ'nün bilinmeyen bir çevrede navigasyonuna yardımcı olması düşünülen GPS-PC tabanlı bir yol yardım sisteminin bir kamera ve harita verileri ile entegrasyonu önerilmektedir. Kameradan belli aralıklarla alınan görüntü ile navigasyon bölgesine ait güncel harita bilgisi kıyaslanarak, GÖ'nün bakış yönünün (açısının) belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla haritadaki yol ve bina gibi yapıların sınır koordinatları kullanılarak, SKH oluşturulmuştur. Kameradan alınan görüntü ile bu şekilde elde edilen sözde kenar haritasının eşleştirilebilmesi için her ikisinin veri yapılarının aynı olması gereklidir. Bunu sağlamak için her iki kaynaktan elde edilen verilerin bazı işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Öncelikle renkli (RGB) kamera

görüntüsü (şekil 2.4) gri seviyeli görüntüye dönüştürülmüş (şekil 2.5), sonra da ‘Sobel’ ve ‘Canny’ gibi yaygın kullanılan kenar operatörleri kullanılarak, görüntünün kenar haritası elde edilmiştir (şekil 2.5).

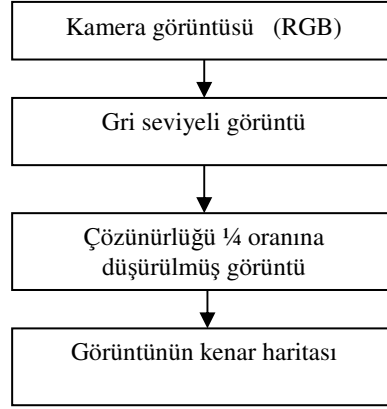
GKH’nın düzgün bir şekilde elde edilmesi büyük önem taşımaktadır. Burada ‘düzgün’ kelimesi, kenar haritasındaki kenarların sürekli olmasını ifade etmektedir. Kenar haritası elde etmede hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın görüntüdeki nesne kenarlarından bir kısmı süreksizlik gösterebilmektedir. Bu durumda eşleştirme işleminin başarımının azalması beklenen bir durumdur.

GKH’nı daha düzgün elde edebilmek ve yapılacak işlem sayısını azaltabilmek için, bu çalışmada önce görüntünün piksel sayısı  $\frac{1}{4}$  oranına düşürülmüş (şekil 2.3), sonra da bu elde edilen (çözünürlüğü azaltılmış) yeni görüntüye kenar operatörü uygulanmıştır (şekil 2.12). Ayrıca tek bir kenar operatörü kullanmak yerine, farklı kenar operatörleri kullanılarak elde edilen kenar haritaları mantıksal işlemlerden geçirilmiş ve bu yolla elde edilen kenar haritaları birbiri ile kıyaslanarak en uygun GKH elde edilmesine çalışılmıştır. Bu şekilde elde edilen kenar haritaları da bu bölümde sunulmaktadır (şekil 2.6-2.13).

Kameranın, GÖ’nün çok hareketli olmayan bel kısmına, mümkün olduğu kadar hareket etmeyecek şekilde bağlandığı ve kamera optik ekseninin yol düzlemine paralel olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, yolun düzlemsel, yol kenarlarının paralel ve yol genişliğinin sabit olduğu kabul edilmektedir. Bütün bu varsayımların çok kısıtlayıcı olduğu düşünülebilir. Ancak literatüre bakıldığında bu kısıtlamaların makul ölçülerde olduğu görülecektir.

GKH ile harita veritabanı bilgilerinden elde edilecek yapı sınırlarını gösteren SKH’nın eşleştirilebilmesi için bu ‘yapı sınırı’ haritasının da aynı formatta olması gereklidir. GKH ikili (binary) formatta olduğundan SKH’nın da ikili formatta olması gereklidir. Her iki haritanın aynı formatta olmaması durumunda bir mantıksal işlem kullanılarak bir eşleştirme yapılamaz. Ayrıca eşleştirme işleminde mantıksal işlem kullanılırsa, bu iki haritanın aynı boyutta olması gereklidir.





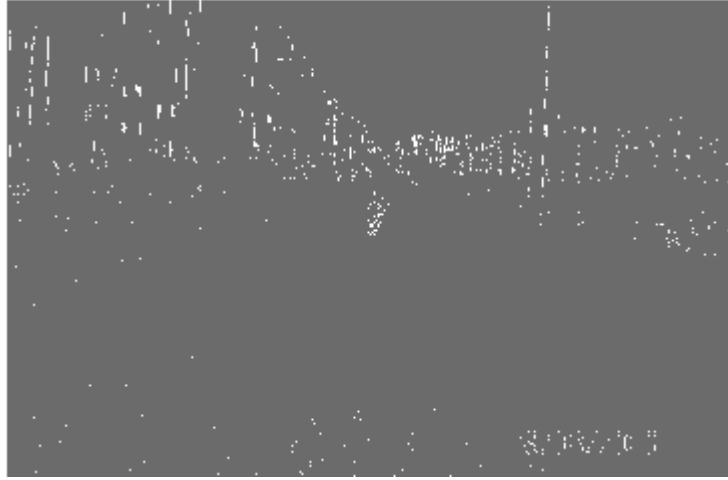
Şekil 2.3 Kamera görüntüsünden kenar haritasının elde edilmesi aşamaları



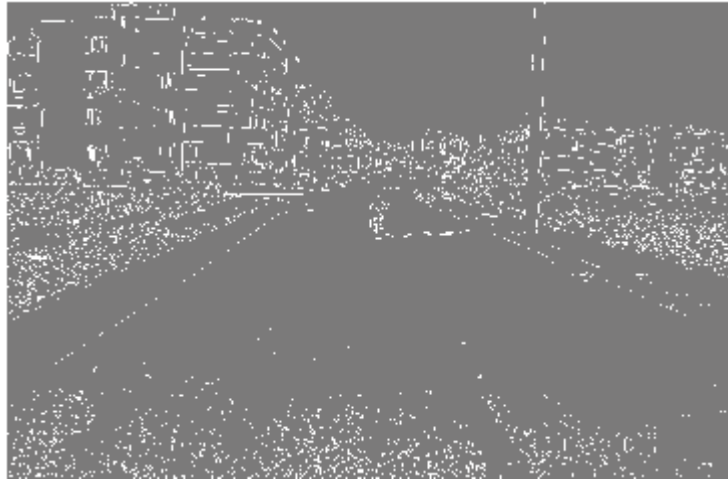
Şekil 2.4 Renkli (RGB) bir görüntü



Şekil 2.5 Şekil 2.4'deki RGB görüntünün gri seviyeli görüntüsü



Şekil 2.6 şekil 2.4'deki görüntüye ait sadece düşey kenarlar



Şekil 2.7 şekil 2.4'deki görüntüye ait yatay ve düşey kenarlar (Sobel operatörü ile)

Kenar haritalarına ait şekiller karşılaştırıldığında şekil 2.4'deki RGB görüntünün 3 farklı metotla (Sobel, Canny ve Robert kenar bulma operatörü) elde edilmiş kenar haritalarının VE işlemi sonucunda elde edilen kenar haritasının daha kötü olduğu (şekil 2.9), buna karşılık VEYA işlemi ile elde edilmiş kenar haritasının daha iyi olduğu (şekil 2.10) görülmektedir. Benzer şekilde  $(xor(xor(g1,g2),g3))$  işlemi sonucunun VEYA işlemi sonucuna göre daha kötü olduğu görülebilmektedir (şekil 2.11). Burada  $g1$ ,  $g2$ ,  $g3$ , 3 metotla (sobel, Canny, Roberts) elde edilen kenar haritalarıdır

Çözünürlük azaltılmadan, sadece düşey (şekil 2.6) veya yatay kenarlar (şekil 2.8) da, elde edilmiş ve yatay ve düşey kenarları birlikte içeren kenar haritası ile

kıyaslanmıştır. Buna göre, hem yatay hem de dişey kenarları birlikte içeren kenar haritasında nesnelerin daha belirgin olduğu gözlenmektedir.



Şekil 2.8 şekil 2.4 görüntüsüne ait yatay kenarlar

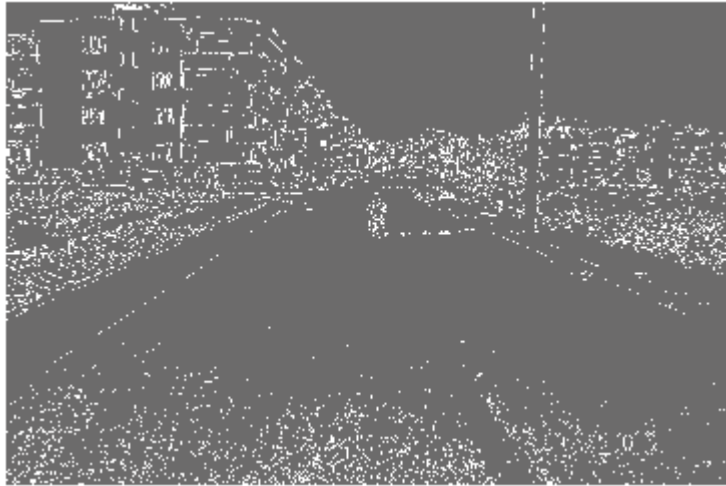


Şekil 2.9 'VE' işleminin sonucu elde edilmiş GKH

Görüntünün boyutları en ve boydan  $\frac{1}{4}$  oranına düşürülüp, bu yeni görüntüye kenar haritası uygulandığında daha iyi sonuç alındığı görülmüştür. Çözünürlüğün düşürülmesi, görüntü ile ilgili işlem sayısının da azaltılmasını sağlar. Bu da sonuçların daha kısa sürede alınması anlamına gelmektedir.



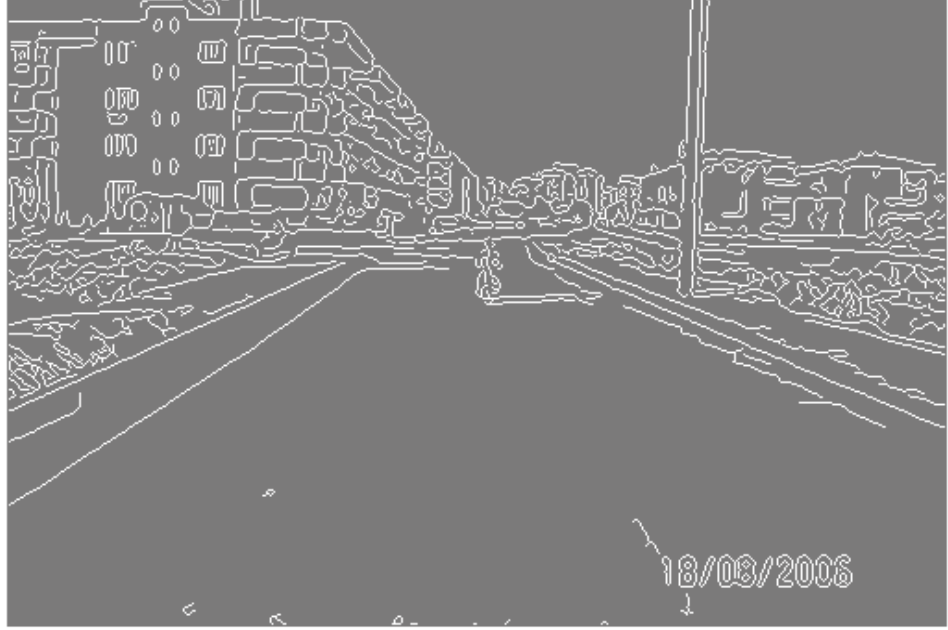
Şekil 2.10 'VEYA' işleminin sonucunda elde edilen GKH



Şekil 2.11 'XOR' işlemi sonucu elde edilen GKH.

SKH ile kıyaslamada kullanılacak en uygun kenar haritasını elde etme araştırmasında, çözünürlüğü 1/16 ya düşürülmüş görüntü de kullanılmıştır (şekil 2.13). Şekil 2.13'de bazı yapı sınırlarının kaybolduğu görülmektedir, bu da bilgi kaybı olarak yorumlanmaktadır. Bu nedenle kıyaslama işleminde çözünürlüğü ¼ oranına düşürülmüş görüntünün kullanılmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir. Bu şekilde elde edilen kenar haritasının, orijinal görüntüden elde edilen kenar haritasına göre daha başarılı olduğu MATLAB uygulaması ile görülmüştür. Fakat kesin bir hükme varmak için sayısal sonuçların alınıp bunlara göre karar verilmesi daha uygun olur.

Kenar haritası elde etmede, yukarda sözü edilen yöntemlerden başka 'Prewitt operatörü', LoG (Laplacian of Gaussian), sıfır sezici (Zero crossing), yöntemleri de kullanılmaktadır (Bu çalışmada, bu yöntemler denenmemiştir).



Şekil 2.12 Görüntü en ve boy çözünürlüğünün 1/4 oranına düşürüldükten sonra alınan kenar haritası



Şekil 2.13 Çözünürlüğü en ve boydan 1/16 oranına düşürülmüş görüntünün kenar haritası

### 2.5. Uzaydaki Bir Noktanın Kamera Görüntü Düzlemindeki İzdüşümü

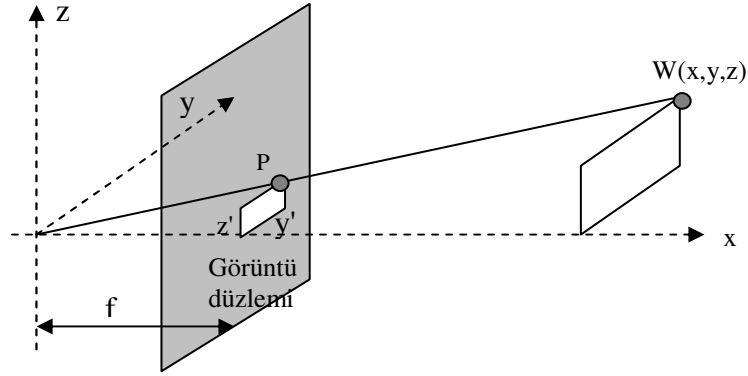
Beline bağlanmış kamera ile hareket eden GÖ kimsenin, bulunduğu yer koordinatlarına ve bakış açısına bağlı olarak, bir noktanın kamera görüntü düzlemindeki izdüşüm koordinatları farklılık gösterir. Görüntü düzlemindeki izdüşüm noktasının koordinatlarının tam olarak belirlenmesi önemlidir, çünkü kıyaslama (eşleştirme) işleminden önce veritabanı koordinat bilgilerine dayanılarak, kamera görüntüsünün kenar haritasının bir benzerinin (SKH) oluşturulması gerekmektedir. Belli bir noktadan belli bir bakış açısıyla bakıldığında bu noktanın izdüşümünün görüntü düzleminin neresinde bulunması gerektiği bilindiği zaman kenar haritasını yeniden oluşturmak için gerekli ilk aşama tamamlanmış olur.

İzdüşüm noktasının yerinin belirlenmesinde, GÖ'nün bulunduğu nokta, bakış açısı ve nokta (nesne) koordinatlarından başka, kameranın kendi parametreleri de etkilidir. Bu parametreler odak uzaklığı ( $f$ ), kameranın CCD (charge coupled device) sensör dizisinin eni ve boyudur (mm cinsinden). Odak uzaklığı üretici firmalar tarafından verilmesine rağmen, CCD sensör dizisinin boyutları genellikle verilmemektedir. Oysaki bu parametreler kameranın görüş alanını belirlemektedir. Bu parametreler bilinmezse, koordinatları belirli bir noktanın izdüşümünün görüntü düzleminin içinde mi yoksa dışında mı kaldığı bilinemez. Elbette burada bakış açısı ve GÖ'nün bulunduğu koordinatlar da etkilidir; belli bir bakış açısıyla bakıldığında

görüntü düzlemi içinde kalan bir izdüşüm noktası aynı koordinatlardan başka bir bakış açısıyla bakıldığında görüntü düzlemi dışında kalabilir.

Bu tezde analizin kolay olması için bazı varsayımlar yapılmıştır. Yapılan varsayımlar aşağıda sunulmaktadır.

- Yol düzlemsel, doğrusal ve eğimsizdir.
- Yolun her iki kenarı paraleldir.
- GÖ, hareketi sırasında yol sınırları içinde kalmaktadır.
- Kamera, GÖ üzerine (örneğin beline veya göğsüne) tespit edilmektedir ve kamera optik eksenine yola paraleldir (görüntü düzlemi z eksenine paraleldir)
- Kamera (GÖ) sadece 'z' ekseninde dönmektedir.
- Yapı sınır koordinatları uzaysal veritabanından alınabilmektedir.
- GPS pozisyon bilgisi her zaman vardır.
- Yapı yol cepheleri yol sınırlarına paraleldir.



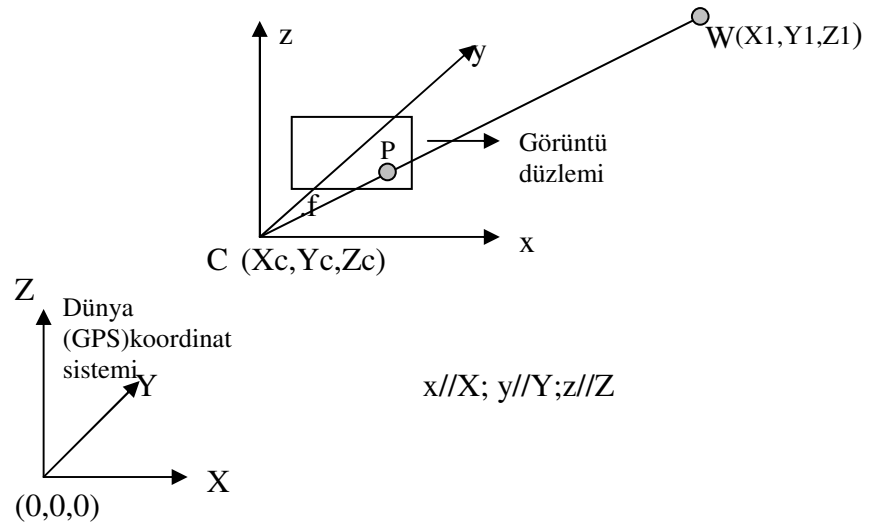
Şekil 2.14 Perspektif izdüşüm geometrisi (Sonka ve ark. 1993)

Şekil 2.14'deki perspektif izdüşüm geometrisinde,  $W(x,y,z)$  3 boyutlu uzayda bir nokta,  $P(z',y')$  bu noktanın görüntü düzlemindeki izdüşümü, 'f' ise, kameranin odak uzaklığıdır.  $W$  ve onun görüntü düzlemindeki izdüşüm noktasının koordinatları arasındaki bağıntı, benzerlik ilişkisinden kolayca bulunabilir (Sonka ve ark. 1993).

$$z' = \frac{zf}{x} \quad y' = \frac{yf}{x} \quad (2.1)$$

(2.1) bağıntısından, izdüşüm noktasının görüş alanı (görüntü düzlemi) içinde olup olmadığı belirlenmemektedir. P noktasının görüntü düzlemi içinde mi yoksa dışında mı kaldığını anlamak için kamera görüş açılarının (yatay ve düşey) bilinmesine ihtiyaç vardır.

Yukarıdaki varsayımlar çerçevesinde önce kamera odağının  $(X_c, Y_c, Z_c)$  koordinatına ötelenmesi durumu, sonra da kameranın bu koordinatta belli bir açı miktarı kadar döndürülmesi durumunda izdüşüm noktasının koordinatları aşağıda ifade edildiği şekilde bulunmaktadır (kamera z eksenine paraleldir). Şekil 2.15’de kamera odağının,  $(X_c, Y_c, Z_c)$  noktasına ötelenmesi durumu gösterilmektedir. Şekil 2.15’de f, kamera odak uzaklığı, W uzayda bir nokta, P ise W’nın görüntü düzlemindeki izdüşümüdür. Dünya koordinat (global koordinat) sistemi ise, XYZ koordinat sistemi ile gösterilmiştir.



Şekil 2.15  $(X_c, Y_c, Z_c)$  noktasına ötelenmiş kamera.



W noktasının görüntü düzlemi üzerindeki izdüşümünün koordinatlarını bulmak için görüntü düzlemi denklemi ifade edilir ve 'CW' doğrusu ile arakesiti bulunur.

Düzlem denklemi;

$$Y = Y_c + f \quad (2.2)$$

CW doğrusunun parametrik denklemi;

$$\frac{X - X_1}{X_1 - X_c} = \frac{Y - Y_1}{Y_1 - Y_c} = \frac{Z - Z_1}{Z_1 - Z_c} = \rho \quad (2.3)$$

şeklinde bulunur.

$$\left. \begin{aligned} X &= X_1 + \rho(X_1 - X_c) \\ Y &= Y_1 + \rho(Y_1 - Y_c) \\ Z &= Z_1 + \rho(Z_1 - Z_c) \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

$$\Rightarrow Y = Y_1 + \rho(Y_1 - Y_c) = Y_c + f \quad (2.5)$$

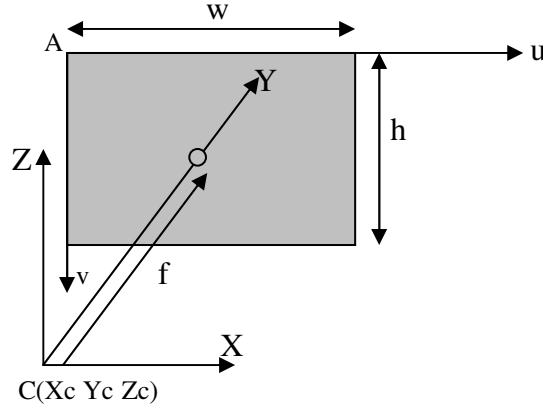
$$\Rightarrow \rho = \frac{f}{Y_1 - Y_c} - 1 \quad (2.6)$$

Arakesit (izdüşüm) noktası P'nin koordinatları;

$$\left. \begin{aligned} X_p &= X_1 + \rho(X_1 - X_c) \\ Y_p &= Y_1 + \rho(Y_1 - Y_c) \\ Z_p &= Z_1 + \rho(Z_1 - Z_c) \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

olarak bulunur. Bu koordinatlar GPS koordinat sistemine ait koordinatlardır. Görüntü düzlemi koordinatlarına (u-v) geçmek için öncelikle görüntü düzleminin orijin (A) koordinatlarını belirlemek gereklidir.

Şekil 2.16'da görüntü düzleminin orijini A'dır. 'w' ve 'h' CCD sensör dizisi boyutları (mm cinsinden), u-v görüntü düzlemi değişkenleri, 'f' ise kamera odak uzaklığıdır.



Şekil 2.16 Ötelenmiş kamera modeli.

A noktasının koordinatları;

$$\left. \begin{aligned} Ax &= Xc - \frac{w}{2} \\ Ay &= Yc + f \\ Az &= Zc + \frac{h}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Olarak bulunur. Görüntü düzlemi için A noktası orijin olduğundan görüntü düzlemi koordinatlarına geçmek için A noktası, (0,0,0) noktasına ötelenmelidir (başka bir deyişle orijini A olan yeni bir koordinat sistemi tanımlanır). Görüntü düzleminin dikey koordinatı 'v', -Z eksenine doğrudur; 'u' ise X eksenine doğrudur.

Görüntü düzlemi üzerindeki bir P noktasının koordinatları yukarıda bulunmuştu.  $P(Xp, Yp, Zp)$ , görüntü düzlemi koordinatları cinsinden şöyle ifade edilebilir;

$$\left. \begin{aligned} u &= Xp - \left(Xc - \frac{w}{2}\right) \\ v &= -(Zp - \left(Zc + \frac{h}{2}\right)) = Zc + \frac{h}{2} - Zp \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Görüntü düzleminde bir noktanın koordinatları piksel numarası ile verildiğinden, 'u' ve 'v'nin piksel numarası cinsinden ifade edilmesi gereklidir. Görüntü çözünürlüğü (görüntünün piksel cinsinden boyutları) biliniyorsa, bu iki bilginin ışığında 'P' noktasının görüntü düzlemi içinde olup olmadığı da belirlenmiş olur. Görüntü eni piksel

sayısı  $M$  ve görüntü boyu piksel sayısı  $N$  ise,  $P$  noktasının koordinatları piksel numarası cinsinden şu şekilde ifade edilebilir;

$$\left. \begin{aligned} u_{pix} &= u \cdot \frac{M}{w} \\ v_{pix} &= v \cdot \frac{N}{h} \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

(2.10) bağıntısında ' $u$ ', ' $w$ ' ile ' $v$ ', ' $h$ ' ile aynı boyutlu olmalıdır; örneğin, ' $u$ ' mm cinsinden ise, ' $w$ ' da mm cinsinden seçilmelidir. İzdüşüm noktasının görüntü düzlemi içinde olabilmesi için;

$$1 \leq u_{pix} \leq M \quad \text{ve} \quad 1 \leq v_{pix} \leq N \quad (2.11)$$

koşulları sağlanmalıdır.

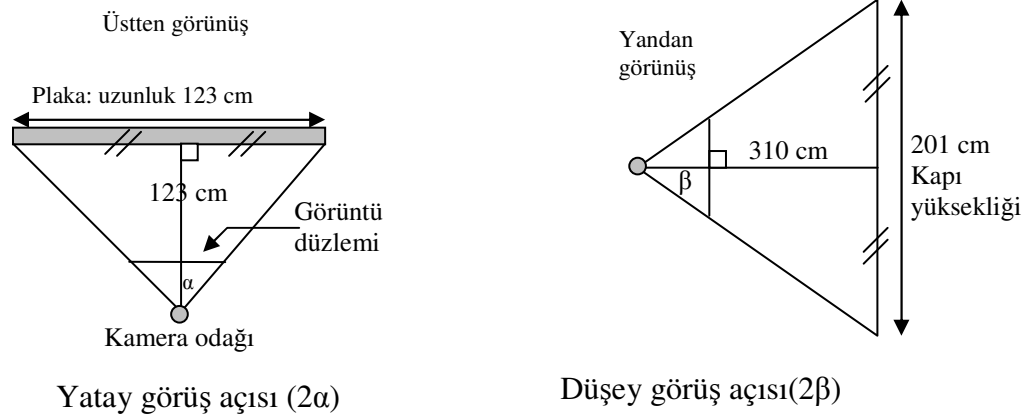
Görüntü düzlemindeki izdüşüm koordinatlarını hesaplamak için bir MATLAB programı yazılmıştır. Programda ayrıca izdüşüm noktasının görüş açısı içinde olup olmadığı da hesaplanmakta ve belirtilmektedir. Örnek olarak  $C(X_c, Y_c, Z_c) = (0, 0, 1)$  ve  $W(X_1, Y_1, Z_1) = (0, 10, 0)$ ,  $f = 0.037$ ,  $w = 0.037$ ,  $h = 0.027$  değerleri için izdüşüm noktasının koordinatları aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. Bu örnekte, (2.11) bağıntısına göre izdüşüm noktasının görüntü düzlemi içinde olduğu sonucuna varılmıştır.

$$\begin{aligned} [X_p \ Y_p \ Z_p \ u \ v] &= \text{IPPOINT}(0, 0, 1, 0, 10, 0, 0.037, 0.037, 0.027, 0, 2032, 1354) \\ \text{rho} &= -0.9963 & \text{XT} &= 0.0185 \\ X_p &= 0 & \text{YT} &= 8.1185e-016 \\ Y_p &= 0.0370 & \text{ZT} &= -0.0172 \\ Z_p &= 0.9963 & u_1 &= 0.0185 \\ A_x &= -0.0185 & v_1 &= 0.0172 \\ A_y &= 0.0370 & u &= 1016 \\ Z_y &= 1.0098 & v &= 862.5481 \end{aligned}$$

izdüşüm noktası görüntü düzlemi içindedir

Görüş açısını belirleyen görüntü düzlemi boyutları (CCD sensör dizisinin boyutları) üreticiler tarafından genellikle belirtilmemektedir. Buradaki görüntüleri elde etmekte kullanılan kameranın CCD sensör dizisi boyutları deneysel olarak yaklaşık

şekilde hesaplanabilmektedir. Bu değerleri hesaplayabilmek için kameradan belli uzaklıkta, boyutları belli olan yatay ve düşey plakalar yerleştirilmiş ve kamera optik eksenini bu plakalara dik ve plakayı ortalayacak şekilde, plakalardan belli bir uzaklığa konumlandırılmaktadır (şekil 2.17). Yatay görüş açısı için yatay, düşey görüş açısı için de düşey bir plaka kullanılmaktadır. Kameranın plakaya uzaklığı değiştirilerek görüntünün eni veya boyunun tam olarak ekranı doldurması sağlanmaktadır. Bu şartlar altında plaka-kamera mesafesi ölçülmektedir. Şekil 2.17’de gösterilen geometriden kameranın görüş açısı ile ‘w’ ve ‘h’ CCD sensör dizisinin boyutları hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.17 Görüş açısını belirleyen kamera parametrelerinin deneysel yoldan hesaplanması

Şekil 2.17’den,

$$\tan \alpha = \frac{123/2}{123} = 0.5 \Rightarrow 2\alpha = 2\text{Arc tan}(0.5) = 52^\circ \text{ bulunur.}$$

Benzer şekilde,

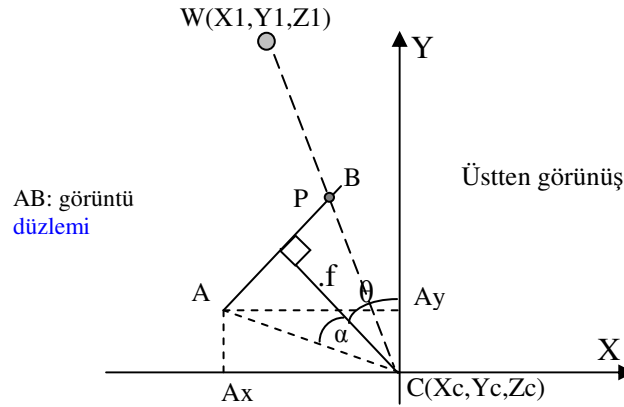
$$\tan \beta \approx \frac{100}{310} \Rightarrow \beta \approx 18^\circ \Rightarrow 2\beta = 36^\circ \text{ bulunur.}$$

Odak uzaklığı  $f=37 \text{ mm}=0.037 \text{ m}$  olarak bilinmektedir. O halde ‘w’ ve ‘h’;

$$\tan \alpha = \frac{w/2}{f} = 0.5 \Rightarrow w = 37 \text{ mm ve}$$

$$\tan \beta = \frac{h/2}{f} \Rightarrow h = 27 \text{ mm} \text{ olarak bulunur.}$$

Kameranın sadece 'Z' eksenini çevresinde döndüğü ve görüntü düzleminin de düşey eksene paralel olduğu varsayılmıştır. Yukarıda yapılan izdüşüm noktasının bulunması analizinde, kameranın bağlanmış olduğu eksen sisteminin sadece ötelenmiş olduğu durum ele alınmıştır. Genel olarak optik eksen 'Y' doğrultusunda olmayabilir; yani kamera 'Z' eksenini çevresinde bir miktar dönmüş haldedir. Bu durumun analizini yapmak için kameranın 'Z' eksenini çevresinde, saat ibrelerinin tersi yönünde ' $\theta$ ' kadar döndüğü ve kamera odağının  $(X_c, Y_c, Z_c)$  koordinatında olduğu varsayılmıştır (şekil 2.18). Şekil 2.18'de 'AB', görüntü düzlemini (Z eksenini yönünde bakıldığında), 'C' kamera odak noktasını, 'f' kamera odak uzaklığını, 'W' ise 3 boyutlu uzaydaki bir noktayı göstermektedir. 'P', 'W' uzaysal noktasının görüntü düzlemi üzerindeki izdüşümüdür. Şekil 2.18'deki ' $\theta$ ', kamera optik eksenini ile 'y' eksenini arasındaki açıdır.  $\alpha$  ise, kameranın yatay görüş açısının yarısıdır (yatay görüş açısı  $2\alpha$ ).



Şekil 2.18 Kameranın Z eksenini çevresinde ve saatin tersi yönünde  $\theta$  kadar dönmesi durumu.

'CW' doğrusu ile görüntü düzleminin arakesit noktasının bulunabilmesi için, öncelikle düzlem denklemi ve doğru denkleminin doğru şekilde ifade edilmesi gereklidir.

Düzlem denklemi aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$-\sin(\theta)X + \cos(\theta)Y + Xc\sin(\theta) - Yc\cos(\theta) - f = 0 \quad (2.12)$$

$\theta=0$  olduğunda  $Y=Y_c+f$  olduğu görülmektedir. Doğru denklemi daha önceki analizdeki ile aynı biçimdedir. Doğru parametresi ‘ $\rho$ ’ aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$\rho = \frac{(X_1 - X_c) * \sin(\theta) + (Y_c - Y_1) * \cos(\theta) + f}{-(X_1 - X_c) * \sin(\theta) + (Y_1 - Y_c) * \cos(\theta)} \quad (2.13)$$

İzdüşüm noktasının koordinatları aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$\left. \begin{aligned} X_p &= X_1 + \rho (X_1 - X_c) \\ Y_p &= Y_1 + \rho (Y_1 - Y_c) \\ Z_p &= Z_1 + \rho (Z_1 - Z_c) \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Görüntü düzlemi koordinatlarına geçmek için ‘A’ noktasının koordinatlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu koordinatlar şekil 2.18’deki şeklin geometrisinden veya döndürme matrisi kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$\left. \begin{aligned} A_x &= X_c - \left( f * \sin(\theta) + \frac{w}{2} * \cos(\theta) \right) \\ A_y &= Y_c + \left( f * \cos(\theta) - \frac{w}{2} * \sin(\theta) \right) \\ A_z &= Z_c + \frac{h}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Görüntü düzlemi koordinatlarına geçmek için, önce A noktasını orijin kabul eden ve eksenleri ‘X’ ve ‘Y’ ye paralel olan bir koordinat sistemi seçilir (şekil 2.19). Görüntü düzleminin ‘u’ eksenini AB vektörü yönünde, ‘v’ eksenini ise (-Z) eksenini yönündedir. Şekil 2.19’ dan,

$$|AP|=u = \frac{x}{\cos(\theta)} = \frac{X_p - A_x}{\cos(\theta)} \quad ; \theta \neq (2k + 1) * \frac{\pi}{2} \text{ ise; } k \text{ tamsayı} \quad (2.16)$$

$$|AP|=u = y \quad ; \cos(\theta) = 0 \text{ olduğu durumlar} \quad (2.17)$$

olduğu görülmektedir.

$$v = -(Z_p - (Z_c + \frac{h}{2})) \quad (2.18)$$

$$x=Xp-Ax \quad (2.19)$$

$$y=Yp-Ay \quad (2.20)$$

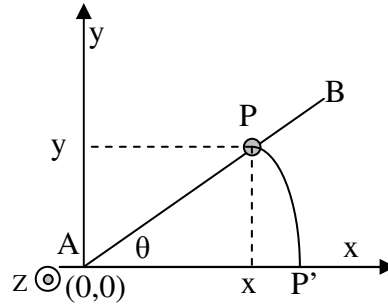
Bu değerlerden piksel koordinatları aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\left. \begin{aligned} u_{pix} &= u \cdot \frac{M}{w} \\ v_{pix} &= v \cdot \frac{N}{h} \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

Daha önceki durumun analizinde olduğu gibi, izdüşüm noktasının görüş açısı içinde olabilmesi için;

$$1 \leq u_{pix} \leq M \quad \text{ve} \quad 1 \leq v_{pix} \leq N \quad (2.22)$$

koşulları sağlanmalıdır. Şekil 2.19'da AB ile ifade edilen görüntü düzleminin üstten görünüşüdür. Z eksenini sayfa düzlemine dik ve okuyucuya doğrudur.  $|AP|=|AP'|$  dir.



Şekil 2.19 Görüntü düzlemi koordinatlarına geçmek için A noktasının orijine çekilmesi.

Yukarıda (2.12-2.22) arasındaki bağıntılar kullanılarak, kameranın dönme açısının sıfır olduğu durumda hesaplanan noktanın izdüşümü, kameranın 30 derece dönmesi durumunda (kamera pozisyonu değişmeksizin) yeniden bulunmak istenirse, aşağıdaki sonuç elde edilir. Kamera dönme açısı sıfır iken izdüşüm noktası görüntü düzlemi içinde kalmasına rağmen, dönme açısı 30 derece olduğunda izdüşüm noktası görüntü düzleminin dışında kalmıştır.

```
>> [Xp Yp Zp u v]=IPPOINT(0,0,1,0,10,0,0.037,0.037,0.027,30,2032,1354)
```

theta = 0.5236	XT = 0.0345
rho = -0.9957	YT = 0.0199
Xp = 0	ZT = -0.0178
Yp = 0.0427	u1 = 0.0399
Zp = 0.9957	v1 = 0.0178
Ax = -0.0345	u = 2.1892e+003
Ay = 0.0228	v = 891.2525
Az = 1.0135	

izdüşüm noktası görüntü düzlemi dışında ( (2.22) kriterine göre)

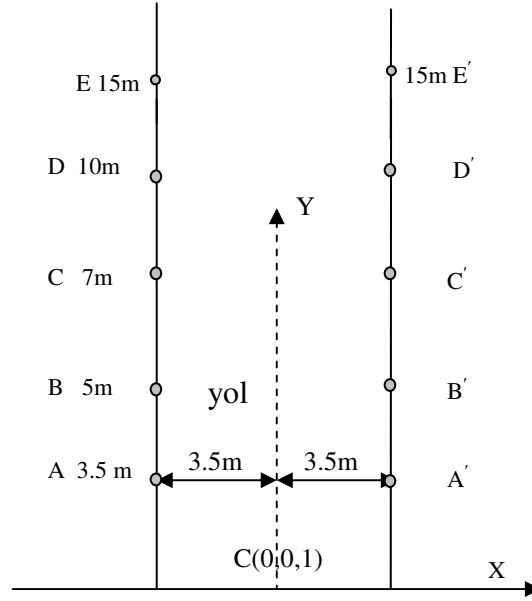
İzdüşüm noktasının koordinatlarının bulunmasına yönelik hesaplamaları içeren yukarıdaki MATLAB sonuçları, izdüşüm programının doğru çalıştığını göstermektedir. İzdüşüm koordinatları bilinen, uzaysal koordinat değerleri verilerek, çok sayıda noktanın izdüşüm koordinatları, yukarıda verilen bağıntılar yardımı ile hesaplanmış ve bulunan sonuçların doğru şekilde elde edildiği görülmüştür.

Aşağıda oluşturulan senaryolar için MATLAB'ta yazılan izdüşüm programı yardımı ile ölçüleri verilen doğrusal bir yol ve bir binanın kamera görüntü düzlemindeki izdüşümleri elde edilmektedir. Bir doğru parçasının kamera görüntü düzlemindeki izdüşümü de gene bir doğru parçasıdır. Bu nedenle bina köşelerine veya yol sınırlarının uç noktalarına ait izdüşümlerin bulunması, binanın izdüşümünün elde edilebilmesi için yeterlidir. Bu örneklerde sadece izdüşüm belirleme programına ait test sonuçları verildiği için, izdüşüm noktaları arasındaki doğru parçaları izdüşüm belirleme programı tarafından değil, ayrıca çizdirilmektedir. Fakat ana program içinde bu çizdirme işlemini gerçekleştiren ayrı bir program parçası vardır ve bu doğru parçaları otomatik olarak çizilebilmektedir.

Bu izdüşüm görüntüleri elde edilirken 3 boyutlu binanın görünmeyen köşe ve kenarları verilmemiştir. Bunlar verilmiş olsaydı, gerçekte görüntüde olmayan kenarlar da çizilirdi. Görüş açısı içinde olmasına rağmen, bir nesne tarafından kapatılmış olması



nedeni ile görünmeyecek olan kenar ve köşe koordinatlarının bilinmesi gerekebilir. Bilgisayar grafiği (computer graphic) konusunda bunu belirlemenin çeşitli yolları belirtilmektedir (Anand 1993, Hearn ve Baker 2004). Program çıktısı 2 nokta için tam olarak verilmiş, diğer sonuçlardan sadece çizim için gerekli olan değerler sunulmuştur. İlk senaryoda (şekil 2.20) A ve B noktalarının izdüşümü görüş açısı dışında (görüntü düzlemi dışında) kalmaktadır.



Şekil 2.20 İzdüşümü belirlenecek olan yol ölçüleri.

'A' noktasının izdüşümü:  $[X_p \ Y_p \ Z_p \ u \ v] = \text{IPPOINT}(0,0,1,-3.5,3.5,0,0.037,0.037,0.027,0,2032,1354)$

$$\rho = -0.9894$$

$$X_p = -0.0370$$

$$Y_p = 0.0370$$

$$Z_p = 0.9894$$

$$A_x = -0.0185$$

$$A_y = 0.0370$$

$$A_z = 1.0029$$

$$X_T = -0.0185$$

$$Y_T = -7.6328e-017$$

$$Z_T = -0.0241$$

$$u_1 = -0.0185$$

$$v_1 = 0.0241$$

$$u = -1.0160e+003$$

$$v = 1.2071e+003$$

izdüşüm noktası görüntü düzlemi dışında

Şekil 2.20'deki 'C' noktasının izdüşümü (açı sıfır derece):

```
[Xp Yp Zp u v]=IPPOINT(0,0,1,-3.5,7,0,0.037,0.037,0.027,0,2032,1354 )
```

rho = -0.9947	XT = 3.8164e-017
Xp = -0.0185	YT = -7.6328e-017
Yp = 0.0370	ZT = -0.0188
Zp = 0.9947	u1 = 3.8164e-017
Ax = -0.0185	v1 = 0.0188
Ay = 0.0370	u = 2.0959e-012
Zy = 1.0082	v = 942.0688

izdüşüm noktası görüntü düzlemi içindedir.

u-v değerleri toplu halde ( yalnızca görüntü düzlemi içinde kalan değerler verilmiştir):

-C noktası izdüşümü (u-v koordinatları):

u = 2.0959e-012	u = 2.0320e+003
v = 942.0688	v = 942.0688

-D noktası izdüşümü:

u = 304.8000	u = 1.7272e+003
v = 862.5481	v = 862.5481

-E noktası izdüşümü:

u = 541.8667	u = 1.4901e+003
v = 800.6988	v = 800.6988

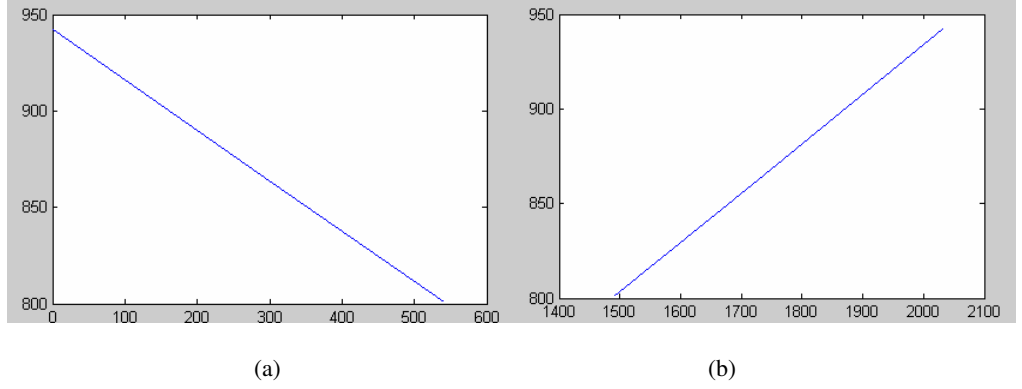
-C' noktası izdüşümü:

C,D,E noktalarının izdüşümlerinin belirlediği doğru , u-v değerleri kullanılarak çizdirilirse (şekil 2.21)

```
u=[2.0959e-012,304.8000,541.8667];
>> v=[942.0688,862.5481,800.6988];
>> plot(u,v)
>> u=[2.0320e+003,1.7272e+003,1.4901e+003];
```

```
>> v=[942.0688,862.5481,800.6988];
>> plot(u,v)
```

C,D,E ve C',D',E'nin izdüşümleri gerçekte, Şekil 2.21'dekinin yatay eksene göre simetriğidir. Çünkü görüntü düzlemi düşey ekseninin pozitif yönü aşağı doğrudur.

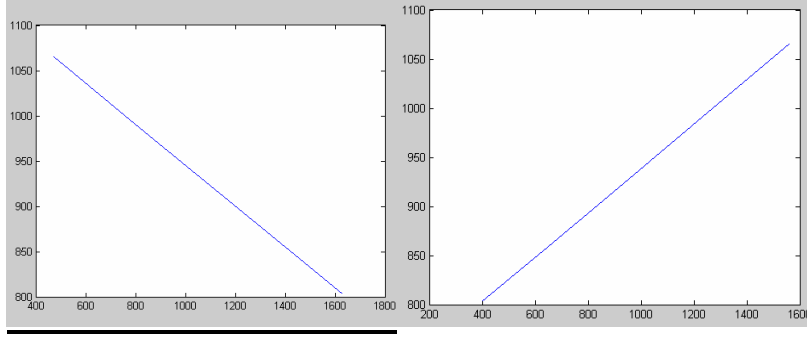


Şekil 2.21 C,D,E (a) ve C',D',E' noktalarının (b) görüntü düzlemindeki izdüşümü

Kameranın, saatin tersi yönünde 30 derece dönmesi durumunda elde edilen izdüşüm değerleri aşağıdadır. Bu izdüşüm değerlerinin belirlediği doğru parçaları ise şekil 2.22'de gösterilmiştir.

A noktası için:  
 $u = 471.5272$   
 $v = 1.0651e+003$   
 B noktası için:  
 $u = 838.5082$   
 $v = 982.1715$   
 C noktası için:  
 $u = 1.1380e+003$

$v = 914.5114$   
 D noktası için:  
 $u = 1.4003e+003$   
 $v = 855.2359$   
 E noktası için:  
 $u = 1.6321e+003$   
 $v = 802.8774$



Şekil 2.22 theta=30 derece için A B C D E (a) ve A',B',C',D',E' (b) nün görüntü düzlemindeki izdüşümü.

**Örnek: Sınır ölçüleri aşağıdaki gibi verilen bir binanın izdüşümünün bulunması:**

Bu senaryoda (şekil 2.23) izdüşüm değerleri hesaplanmış fakat burada verilmemiştir. Senaryoda ilk önce kameranın yol doğrultusundaki bakış açısı için (şekil 2.24 a), sonra da saatin tersi yönünde 30 derece döndüğü durumdaki (şekil 2.24 b) izdüşüm değerleri hesaplanmış ve çizdirilmiştir. Bina köşelerine ait koordinatlar aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$A = (-18, 40, 6);$$

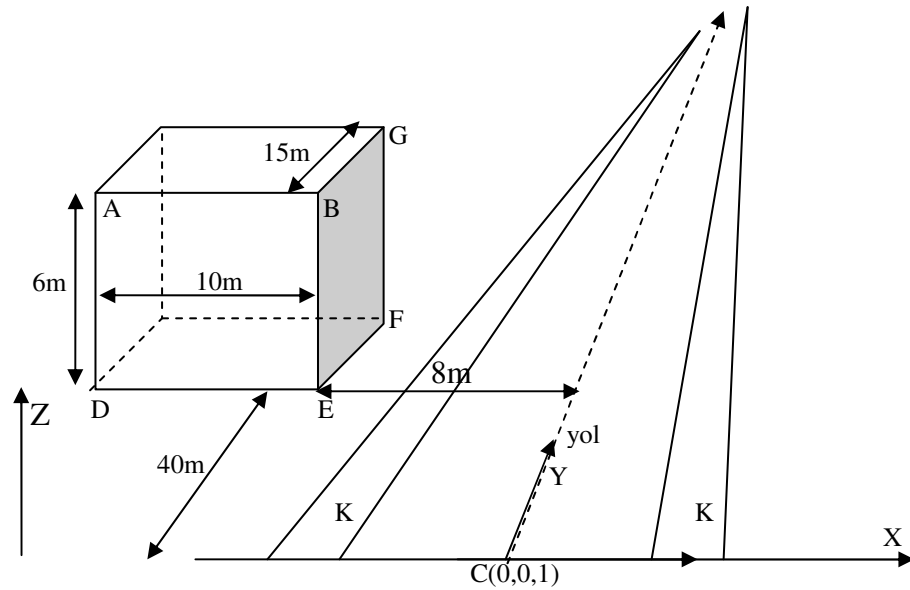
$$E = (-8, 40, 0);$$

$$B = (-8, 40, 6);$$

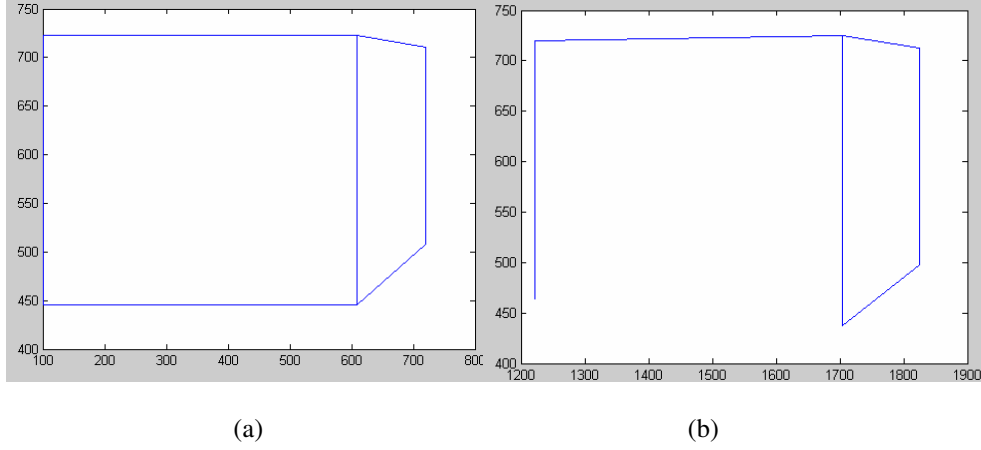
$$F = (-8, 55, 0);$$

$$D = (-18, 40, 0);$$

$$G = (-8, 55, 6);$$



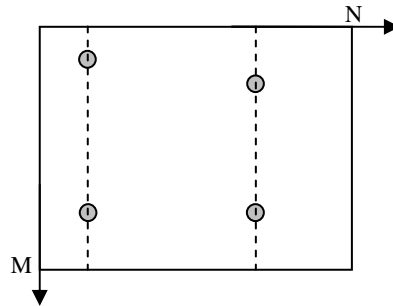
Şekil 2.23 İz düşümü çizdirilecek olan bina ve ölçüleri



Şekil 2.24 Şekil 2.23'deki binanın görüntü düzlemindeki izdüşümleri.

Şekil 2.24'deki izdüşüm görüntüsü, izdüşüm noktaları kullanılarak çizdirilmiştir. Bu çizimde kapatılmış olan kenar (kesik çizgiler) için izdüşüm hesaplanmamıştır. Şekil 2.23'de 'K' kaldırımı, 'C' ise kamera odak noktasının koordinatlarını göstermektedir.

Eşleştirme (kıyaslama) işleminde sadece düşey yapı kenarları kullanıldığı için, izdüşüm bulma algoritmasının çıktısı,  $M \times N$  boyutlu bir sıfır matrisi içinde bulunan çift sayıdaki noktalardan oluşmaktadır. Bu izdüşüm noktaları, yatay görüş açısı içine giren yapı sınırlarına aittir. Bir yapı sınırının izdüşümü, matris içinde aynı sütun üzerinde bulunan bir çift izdüşüm noktası ile temsil edilmektedir. Eğer yatay görüş açısı içinde bulunan iki yapı sınır koordinatı varsa,  $M \times N$  boyutlu bu sıfır matrisinin iki farklı sütunu üzerinde bulunan (her bir sütun üzerinde iki nokta) toplam dört izdüşüm noktası bulunmaktadır (şekil 2.25).



Şekil 2.25 İki yapı sınırına ait izdüşüm noktaları

## 2.6. Sözde Kenar Haritası

Kamera (GÖ) bakış açısını belirlemek için, kamera görüntüsünden elde edilen GKH ile uzaysal veritabanındaki yapı koordinatları kullanılarak türetilen SKH eşleştirilmektedir. Bu çalışmada uzaysal veritabanı, keyfi seçilen belirli bir referans noktaya göre, bir yapının ve yolun sınır koordinatları ölçülerek oluşturulmuştur. Yapı ve yol sınır koordinatları, seçilen koordinat sistemine bağlı olarak değişeceğinden, gerçekleştirilen sistemde global koordinat sistemi de kullanılabilir.

GKH ve SKH'nın eşleşmesi, belirli bir pozisyon değeri için yalnızca belirli bir bakış açısında mümkün olmaktadır. Burada GPS'den elde edilen GÖ pozisyonu az bir hata ile belirlenebilmektedir. Bu hata GPS pozisyon hatasıdır ve günümüz teknolojisi ile üretilen GPS'ler için birkaç metre ile sınırlı kalmaktadır. GPS pozisyon değerlerinin belirli ve sınırlı bir aralık içinde değişmesi, bakış açısının değerini belirlemede hataya neden olmaktadır. Çünkü bu pozisyon aralığı içinde, birden fazla pozisyon değeri için GKH ve SKH eşleşebilmektedir. Dolayısı ile farklı pozisyon değerlerinde elde edilen eşleşme açıları da farklı olmaktadır. Ancak bu açılar arasındaki farklılık, pozisyon değişim aralığı çok büyük olmadıkça, bakış yönünü belirlemeyi engelleyecek ölçüde büyük olmamaktadır. Yapılan testlerde GPS pozisyon hatasının  $\pm 4m$  ve yapı sınırı uzaklığının 30m kadar olduğu bir durum için, bulunan bakış açıları arasındaki farklar 1-5 derece arasında bulunmuştur.

Düşey düzlemde bulunan bir görüntü düzlemi içindeki bir izdüşüm noktasının koordinatlarını belirleyen 3 parametre bulunmaktadır. Bunlar bakış açısı, uzaysal noktanın koordinatı ve kamera parametreleridir (odak uzaklığı ve görüş açıları). Benzer şekilde, bir SKH'ı oluşturabilmek için belirli bir pozisyon, belirli bir bakış açısı ve uzaysal koordinat (yapı sınır koordinatı) gerekmektedir (kamera parametreleri belirli). Elbette SKH'ı oluşturmada çok sayıda koordinat kullanılabilir fakat bu çalışmada 2 yapı sınırı kullanılmaktadır. Daha fazla koordinat değeri kullanıldığında eşleştirme işlemi için daha fazla zaman harcamak gereklidir. Bu aynı zamanda programın daha karmaşık olması anlamına gelmektedir.

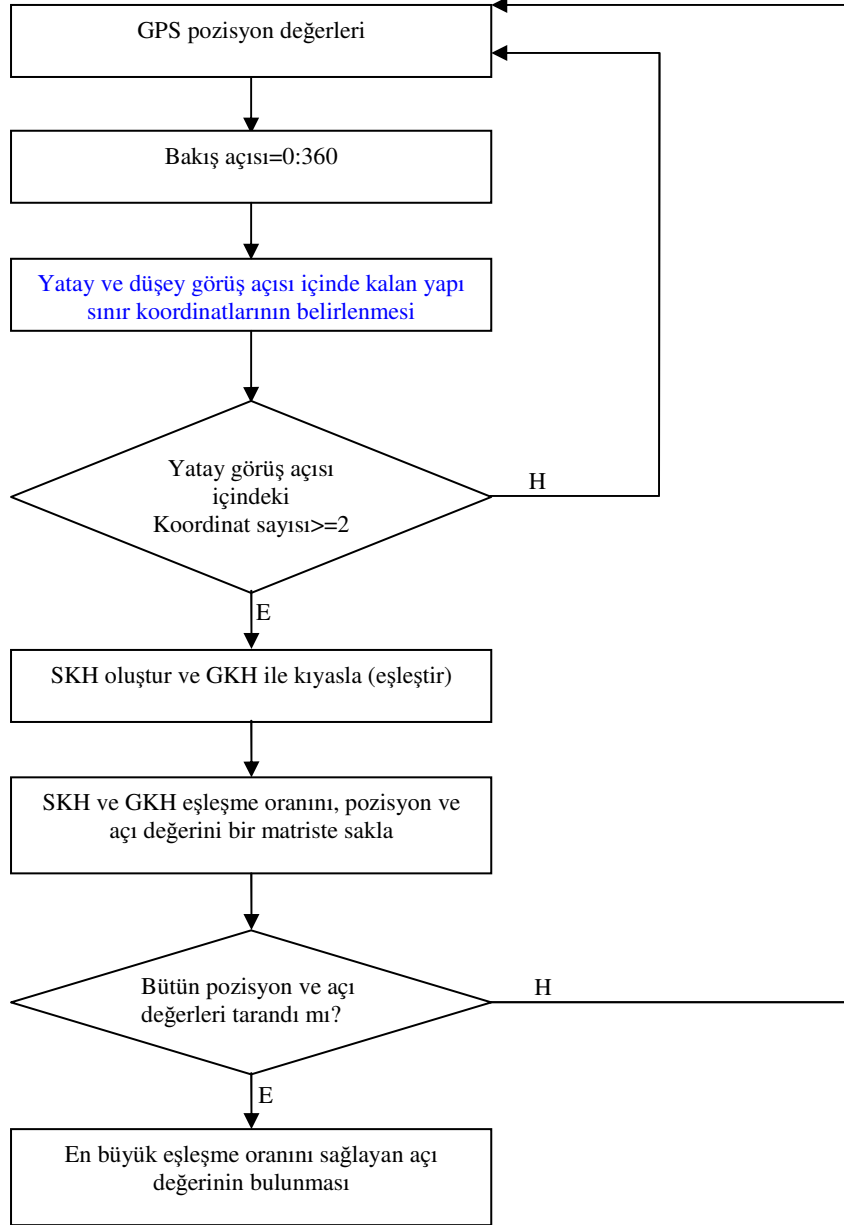
Pozisyon bu şekilde değiştirilirken, belirli bir pozisyon değeri için, bakış açısı 0-360 derece arasında taranarak görüş açısı içinde kalan yapı sınır koordinatları

belirlenmektedir. Eğer SKH'da, yatay görüş açısı içinde kalan ikiden az sayıda yapı sınır koordinatı bulunursa, bu SKH eşleştirmede kullanılmamakta ve programda geri kalan işlemler iptal edilerek, diğer iterasyona geçilmektedir (şekil 2.26). Bu şekilde, 0-360 derece arasındaki bütün açılar ve hata sınırları içindeki bütün pozisyon değerleri için olmak üzere çok sayıda SKH üretilmektedir.

Eşleştirmede düşey kenarlar kullanıldığı için, SKH sadece düşey kenarlar (düşey yapı sınırları) içermektedir. Eşleştirmede düşey kenar kullanılmasının en büyük avantajı, eşleştirmenin satır değerlerine fazla duyarlı olmamasıdır. Sıradan kameralarda genellikle, uzaydaki bir noktanın izdüşümü, teorik yerinden farklı bir noktada çıkabilmektedir. Bu nedenle, izdüşüm noktasının koordinatlarının doğruluğunun önemli olduğu durumlarda genellikle kamera kalibrasyonu yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada kalibrasyon işlemi yapılmadan açı belirlenebilmektedir. Kalibrasyon işlemi gerektirmemesi, bu çalışmanın önemli bir avantajı olarak düşünülmektedir. Kalibrasyon işleminden kurtulmak için yapılan işlemler sonraki bölümlerde sunulmaktadır.

Şekil 2.26'da SKH'ı oluşturmada kullanılan yapı sınır koordinatlarını (YSK) seçmek işlemi önemlidir ve daha sonraki bölümlerde ayrıntısı ile açıklanmaktadır. YSK'ı seçmek için, kameranın yatay ve düşey açıları, uzaklık, kamera dönme açısı ve yapıların yol cephe koordinatları dikkate alınmaktadır.

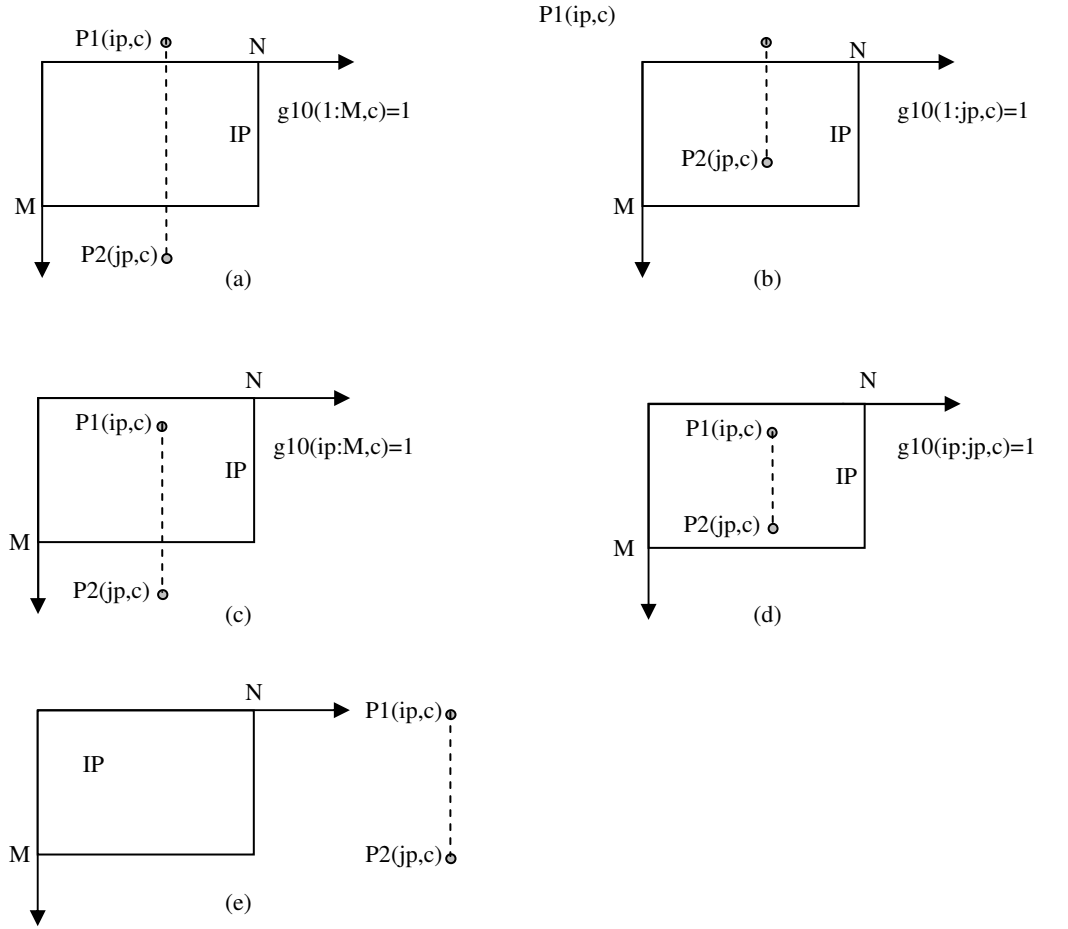
Şekil 2.26'da görülen SKH ve GKH'nin eşleştirilme işlemi sütun üzerindeki pikseller üzerinde olmaktadır. Çünkü burada oluşturulan SKH sadece düşey (sütun) doğru parçaları içermektedir. Eşleşme oranı ise SKH ve GKH'nin eşleştirilen sütun elemanları üzerinde çakışan piksel sayılarının oranı olmaktadır.



Şekil 2.26 SKH oluşturma ve bakış açısının bulunması

SKH’da izdüşüm noktalarının görüntü düzlemi içinde olup olmasına bağlı olarak, 5 farklı durum ortaya çıkmaktadır (şekil 2.27). Şekil 2.27’de ‘IP’,  $M \times N$  (piksel) boyutlu SKH görüntü düzlemini,  $g_{10}(\dots)$  SKH sıfır matrisini göstermektedir. Bu matris GKH ile aynı boyutludur. Şekil 2.27 (e)’de izdüşüm doğru parçası görüntü düzlemi dışında kaldığından,  $g_{10}$  matrisi içine bir şey yazılmamaktadır. Şekil 2.27’de ‘ip’ ve ‘jp’ satır indekslerini, ‘c’, sütun indeksini göstermektedir.





Şekil 2.27 İzdüşüm noktalarının bulunabileceği pozisyonlar.

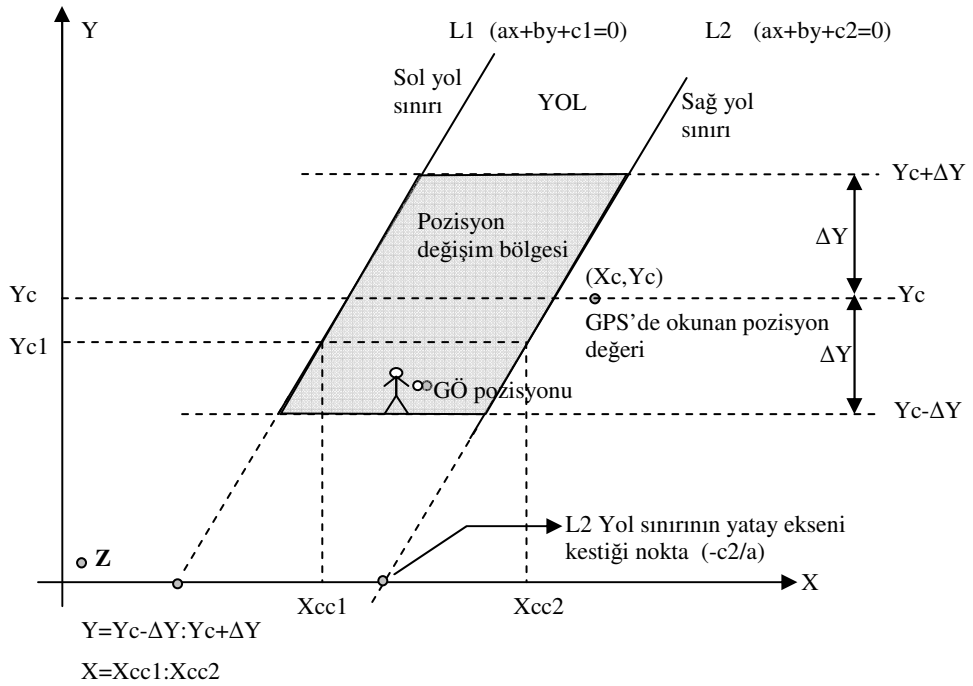


Şekil 2.28 Bir SKH

Şekil 2.28'de, seçilen belirli bir referansa göre koordinatları WC(13.6 33 12; 36.6 33 12) olan bir yapıya ait iki sütunlu bir SKH (MATLAB çıktısı) görülmektedir. Bu SKH'ı elde etmek için iki YSK kullanılmıştır. Resim sadece siyah ve beyazdan oluşmaktadır (grinin tonları yoktur).

## 2.7. GPS Pozisyon Değişim Bölgeleri

GPS pozisyonu genellikle bir miktar hata içerdiğinden, GPS pozisyon koordinatları bu hata aralığında, fakat aynı zamanda yol sınırları içinde kalacak şekilde değiştirilmektedir (şekil 2.29). Bu nedenle, yol sınır koordinatları eşleştirme işleminde doğrudan kullanılmamasına rağmen, programda pozisyon değişkenlerinin sınırlarını belirlemek amacı ile gerekli olmaktadır (şekil 2.29). Hatırlanacağı gibi, bu çalışmada yapılan varsayımlardan birisi de GÖ'nün, hareketi sırasında yol sınırları içinde kaldığıdır. Literatür incelenirse bu kabulün makul olduğu görülecektir. Dolayısı ile GPS pozisyon değeri yol dışına karşılık gelen bir pozisyon değeri göstermiş olsa bile, gerçekte GÖ pozisyonu yol sınırları içindedir. Bu nedenle programda pozisyon değişkenlerinin (X ve Y) değeri yol sınırlarına bağlı olmaktadır.



Şekil 2.29 Yolun yatay olmaması durumunda pozisyon değişkenlerinin ( $X_c$  ve  $Y_c$ ) değişim bölgesi

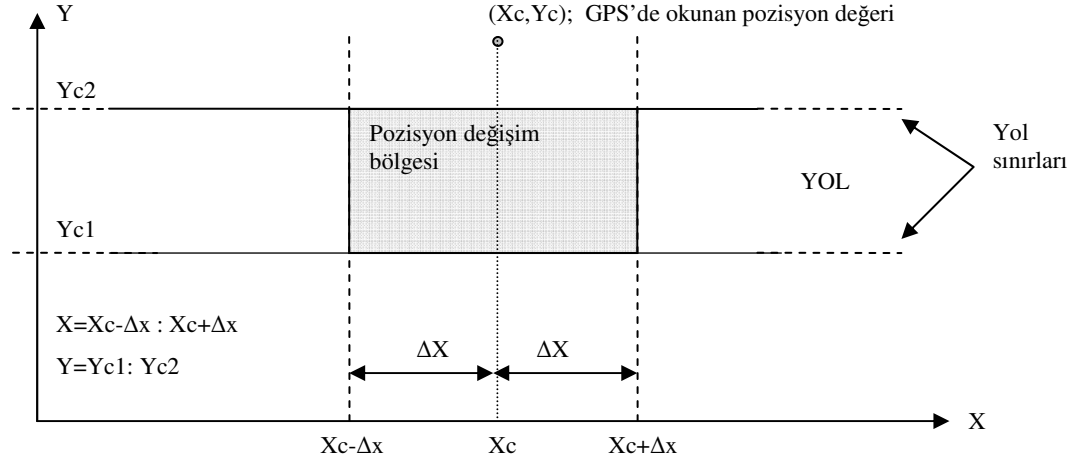
Şekil 2.29’da GPS pozisyonu ( $X_c, Y_c$ ) olarak bilinmektedir. Bu pozisyon değeri bir miktar hata içermektedir. Bu nedenle  $Y$  pozisyon değişkeninin değişim aralığı,  $Y_c + \Delta Y$  ile  $Y_c - \Delta Y$  arasında değiştirilmektedir. Burada  $\Delta Y$  değeri en büyük GPS pozisyon hata değeri olmaktadır ve testlerdeki en büyük değeri, altı metre olarak seçilmiştir. Şekil 2.33’de  $X$  değişkeninin değişim aralığı ise yol sınırları doğru denklemlerine ve  $Y$  değerine bağlı olarak ifade edilebilmektedir. Buna göre belirli bir  $Y_{c1}$  değeri için  $X_{cc1}$  ve  $X_{cc2}$  değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Eğer  $L1$  ve  $L2$  yol doğrusu denklemleri sırası ile  $ax+by+c1=0$  ve  $ax+by+c2=0$  ise,  $X$  pozisyon değişkeni sınırları;

$$\begin{aligned} X_{cc1} &= -(b.Y_{c1} + c1) / a \\ X_{cc2} &= -(b.Y_{c1} + c2) / a \end{aligned} \quad (2.23)$$

olarak bulunur.

Şekil 2.33’de yol sınırlarının hangisinin sağ, hangisinin sol yol sınırı olduğunu bulabilmek için, yol sınırlarının yatay eksenini kestiği noktalar karşılaştırılmaktadır. Testlerde kullanılan pozisyon değişkeni artma değerleri 0.5m ve 0.25m olarak seçilmiştir.

Özel bir durum olan, yol sınırlarının yatay olması durumunda (kullanılan GPS koordinat sistemine göre) ise, pozisyon değişim aralıkları  $Y=Y_{c1}:Y_{c2}$  ve  $X=X_c - \Delta x : X_c + \Delta x$  olmaktadır (şekil 2.34).



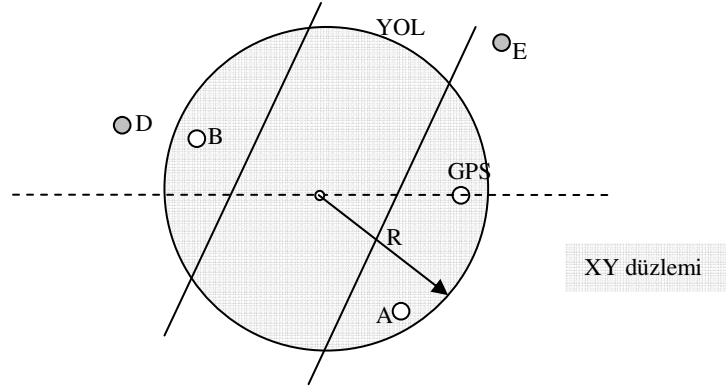
Şekil 2.30 Yol sınırlarının yatay olması durumunda pozisyon değişim bölgesi

## 2.8. Yapı Sınır Koordinatlarının Belirlenmesi

SKH'ı oluşturmakta kullanılacak olan uzaysal veritabanındaki yapı sınır koordinatları, o andaki GPS pozisyon değerine bağlı olarak seçilmektedir. Yapı sınır koordinatlarını seçmekte bazı kriterlere uyulması gerekmektedir. Rasgele seçilen YSK kullanılarak oluşturulacak SKH, GKH ile eşleştirme için genellikle uygun olmayabilir. Örneğin GÖ'den çok uzaklarda seçilen YSK'lara karşılık gelen GKH'da yapı sınırları birbirine çok yakın ve hatta ayırt edilemez durumda olabilmektedir. Bölüm 2.4'deki GKH'larına bakıldığında bu açık bir şekilde gözlenebilmektedir. Bölüm 2.4'deki GKH'larında, kameraya yakın olan yapı sınırları gayet belirgin olmasına rağmen, uzaktakiler belirsiz hale gelmektedir. Bunun da hatalı eşleştirmelere yol açabileceği düşünülmektedir.

### 2.8.1. YSK'nın belirlenmesinde uzaklık kriteri

Bu çalışmada, kullanılan kameranın parametreleri ve genel olarak yapı boyutları dikkate alınarak, bu kriter belirlenmektedir. Buna göre, merkezi GPS koordinatları bileşenlerinden birinin üzerinde bulunduğu yol orta koordinatları olan belirli yarıçaplı bir çemberin iç bölgesi içinde kalan YSK'lar, SKH'ı oluşturmakta kullanılacak olan aday koordinatlardır (şekil 2.31). Çünkü GPS pozisyon değeri, hatalardan dolayı her zaman yol bölgesi içini göstermeyebilir. Şekil 2.31'de, SKH için sadece A ve B koordinatları uzaklık kriterini sağlamaktadır.

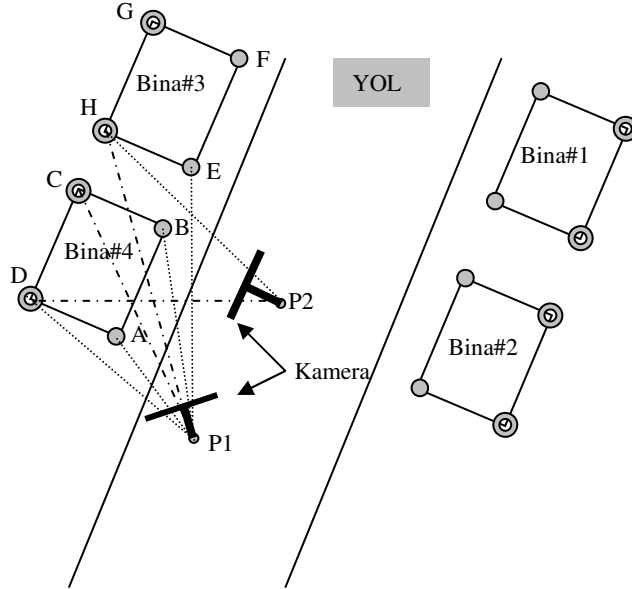


Şekil 2.31 YSK seçiminde uzaklık kriterinin uygulanması.

### 2.8.2. Kapatılma ve yola bakan cephelere ait YSK'nın seçilmesi

Yapıların yan cephelerine ait olan sınır koordinatları bakış açısına ve GPS pozisyonuna bağlı olarak, kamera görüş açısı içinde olabilmesine rağmen, diğer yapıların cepheleri veya başka nesnelere tarafından kapatılabilmektedir (Şekil 2.36). Benzer şekilde, yapıların arka cepheleri de, yine görüş açısı içinde kalabilmesine rağmen, hem o yapıya komşu olan başka yapılar, hem de o yapının diğer cepheleri tarafından kapatılabilmektedir. Burada kapatılma kelimesi, belirli bir kamera pozisyonu için, bakış açısı ne olursa olsun ilgili sınırın bu pozisyondan görünmemesini ifade etmektedir. Bu şekilde, başka nesne veya yapılar tarafından kapatılabilen sınır koordinatları seçildiği takdirde, bu sınırların GPS pozisyonu ve bakış açısına bağlı olarak kapatılıp kapatılmadığı ve görüş açısı içinde olup olmadığı da kontrol edilmelidir. Bu güçlüğü ortadan kaldırmak için, yapıların sadece yola bakan cephesine ait sınır koordinatlarının seçilmesi önerilmektedir. Şekil 2.32'da binaların arka ve yan cephe sınırlarının, diğer cepheler tarafından kapatılması durumu gösterilmektedir. P1 ve P2 iki ayrı kamera (GPS) pozisyonudur. Kameraların bakış yönleri gösterildiği gibidir. Kamera P1 pozisyonunda iken, gösterilen bakış yönüne göre, bina#4'ün arka cephesinde bulunan D sınırı kapatılmamış, fakat C sınırı kapatılmıştır. P1 pozisyonunda bina#3'e ait H sınırı kapatılmış durumdadır. P2 pozisyonunda ise, H ve D sınırlarının durumları değişmiştir. Görüldüğü gibi, binaların arka cephelerine ait sınırların durumları pozisyona bağlı olarak değişebilmesine rağmen, ön cephe sınırları başka cepheler tarafından kapatılmamaktadır. Arka cephelere ait sınırların kapatılıp kapatılmadığının analizi yapılabilir, fakat SKH'ı oluşturmada ön cephe sınırları

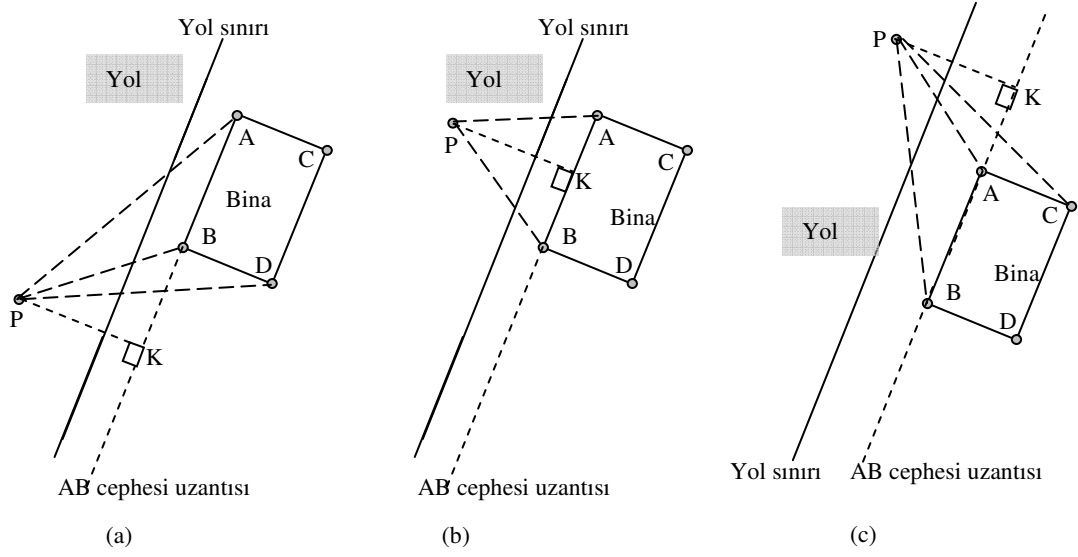
yeterlidir. Yakın çevrede başka yapıların olmadığı durum için, şekil 2.33’de bu analiz yapılmaktadır. Şekil 2.33’de kapatılan ve kapatılmayan sınırları belirlemede üç farklı durum ortaya çıkmaktadır. Bu durumlardan ikisinde bir sınır, diğer durumda ise, iki sınır kapatılmaktadır.



Şekil 2.32 Binaların arka ve yan ceph sınırlarının diğer cepheler tarafından kapatılması. P1 ve P2 kamera pozisyonlarıdır.

Şekil 2.33’(a) da C sınırı, (b)’de C ve D sınırları, (c)’de ise D sınırı kapatılmaktadır. Ancak kapatılmayan diğer sınırlardan bazıları veya hepsi, kameranın pozisyon ve bakış açısına bağlı olarak (kapatılmamasına rağmen) görüş açısı dışında kalabilir. Başka bir deyişle, kapatılma ve görüş açısı dışında kalma kavramları farklı anlamlar ifade etmektedir. Şekil 2.33’de P, kamera pozisyonunu göstermektedir.

Şekil 2.33’de kapatılan sınırları belirleyebilmek için ‘arada olma ilkesi’ kullanılmaktadır. ‘Arada olma’ ilkesine göre, ‘AB’ doğru üzerinde bulunan bir ‘K’ noktasının [AB] doğru parçasının üzerinde olabilmesi için (2.24) bağıntısı sağlanmalıdır. ‘K’ noktası [AB] dışında ise, (2.25) bağıntısı sağlanmalıdır. Buna göre, ‘K’ noktası, [AB] dışında ([AB]’ nin uzantısında) ve  $|KB| < |KA|$  ise ((a) durumu), D sınırı kapatılmamıştır.



Şekil 2.33 Bir yapının, kamera pozisyonuna bağlı olarak sınırlarının kapatılma durumları

$$|KA| + |KB| = |AB| \quad ; K \in [AB] \quad \text{ise} \quad (2.24)$$

$$|KA| + |KB| > |AB| \quad ; K \notin [AB] \quad \text{ise} \quad (2.25)$$

Benzer şekilde 'K' noktası, [AB] arasında ise ((b) durumu), C ve D sınırları kapatılmaktadır. (c) ve (a) durumları benzerdir; yalnız (c)'de  $|KB| > |KA|$  koşulu sağlanmaktadır.

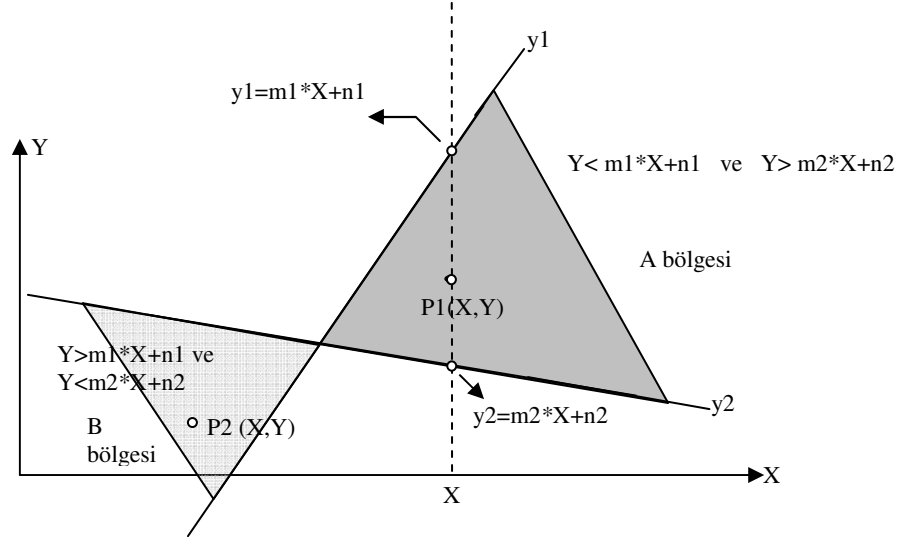
### 2.8.3. Yatay görüş açısı içinde kalan YSK'nın belirlenmesi

Belirli bir pozisyon ve açıda YSK seçiminde yukarıda açıklanan uzaklık ve kapatılmama kriterlerinden başka, kameranın yatay görüş açısının da dikkate alınması gerekmektedir. SKH'ın oluşturulmasında, GÖ belirli bir pozisyonda iken, kameranın optik ekseninin yatay eksenden itibaren saatin tersi yönünde adım adım 360 derece döndürüldüğü varsayılmaktadır. Her dönme açısı (ve kamera pozisyonu) için bir SKH üretilmekte ve GKH ile kıyaslanmaktadır.

Yatay görüş alanı (açısı) içinde kalan YSK'ı belirleyebilmek için, yukarıdaki iki kriteri sağlayan noktalar arasından, yatay görüş alanı (açının iç bölgesi) içinde

bulunanlar seçilmektedir. Bir noktanın (YSK) yatay görüş alanı içinde olup olmadığını belirlemek için, açının iç bölgesini ifade etmek gerekmektedir.

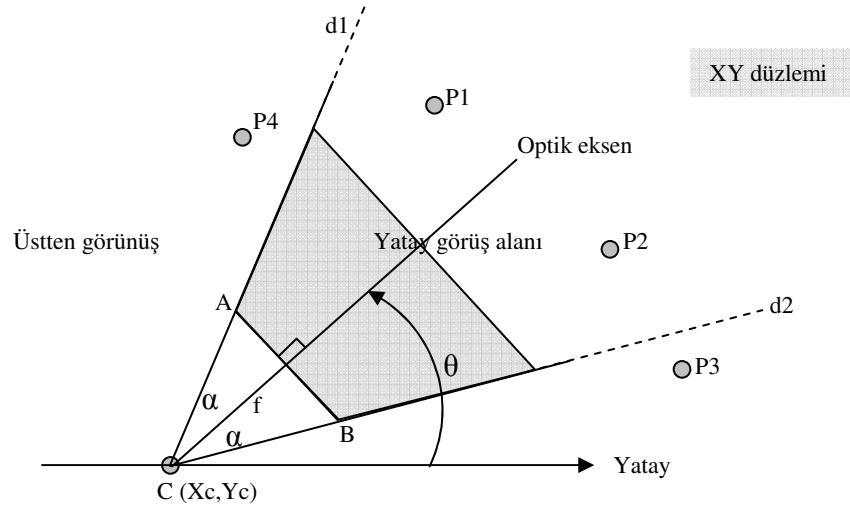
Şekil 2.34'de kesişen iki doğru arasında kalan iki bölgenin nasıl belirlendiği gösterilmektedir. Buna göre, bir noktanın bölge içinde olabilmesi için şekil 2.38'de yazılan eşitsizlikleri sağlaması gerekmektedir.



Şekil 2.34 Düzlemde  $y1$  ve  $y2$  doğruları arasında kalan iki bölgeyi tanımlayan eşitsizlikler.

Şekil 2.35 yatay eksenden saatin tersi yönünde ' $\theta$ ' kadar dönmüş olan kameranın yatay görüş alanını göstermektedir. Burada  $2\alpha$  yatay görüş açısı, 'f' odak uzaklığı, AB görüntü düzlemi (üstten görünüş), 'C' kamera odak noktasıdır.  $d1$  ve  $d2$  ışınları yatay görüş alanını (sınırlarını) belirlemektedir.





Şekil 2.35 Kameranın 'θ' kadar dönmesi ve yatay görüş alanı.

Şekil 2.35'de P1 ve P2 yatay görüş alanı içinde, P3 ve P4 yatay görüş alanı dışında bulunan uzaysal koordinatlarıdır. d1 ve d2 ışınlarının yatay eksen ile yaptıkları açılar şöyle ifade edilebilir;

$$\left. \begin{array}{l} \theta_{d1} = \theta + \alpha \\ \theta_{d2} = \theta - \alpha \end{array} \right\} \quad (2.26)$$

d1 ve d2 doğrularının eğimleri;

$$\left. \begin{array}{l} md1 = \tan(\theta_{d1}) \\ md2 = \tan(\theta_{d2}) \end{array} \right\} \quad (2.27)$$

d1 ve d2 doğrularının denklemleri;

$$\left. \begin{array}{l} y - Yc = md1 * (x - Xc) \quad ; \quad y = md1 * x + n1 \quad ; \text{d1 doğrusu} \\ y - Yc = md2 * (x - Xc) \quad ; \quad y = md2 * x + n2 \quad ; \text{d2 doğrusu} \end{array} \right\} \quad (2.28)$$

olarak ifade edilebilir. Burada d1 ışını d2'ye göre ileri fazdadır. Şekil 2.35'de kamera dönme açısına bağlı olarak yatay görüş alanı da değişmektedir. Yatay görüş alanının belirlenmesi açısından 4 farklı genel durum ve 4 özel durum ortaya çıkmaktadır. Genel durumlar, belirli bir dönme açısı aralığında, özel durumlar ise, belirli bir dönme açısı

değerinde geçerlidirler. Söz konusu genel durumlar 1-4 maddede, özel durumlar ise 5-8 maddede aşağıda ifade edilmektedir. Bu maddelerde geçen (X,Y) değerleri, YSK'nın bileşenleri, (Xc,Yc) ise, kamera koordinatlarıdır. Eşitsizliklerde geçen y1 ve y2 değerleri  $y1 = md1 * X + n1$  ve  $y2 = md2 * X + n2$  şeklindedir.

$$1. \frac{\pi}{2} + \alpha < \theta < \frac{3\pi}{2} - \alpha \Rightarrow y2 > Y \text{ ve } y1 < Y$$

$$2. \frac{3\pi}{2} - \alpha < \theta < \frac{3\pi}{2} + \alpha \Rightarrow y1 > Y \text{ ve } y2 > Y$$

$$3. \frac{3\pi}{2} + \alpha < \theta < \frac{\pi}{2} - \alpha \Rightarrow y1 > Y \text{ ve } y2 < Y$$

$$4. \frac{\pi}{2} - \alpha < \theta < \frac{\pi}{2} + \alpha \Rightarrow y1 < Y \text{ ve } y2 < Y$$

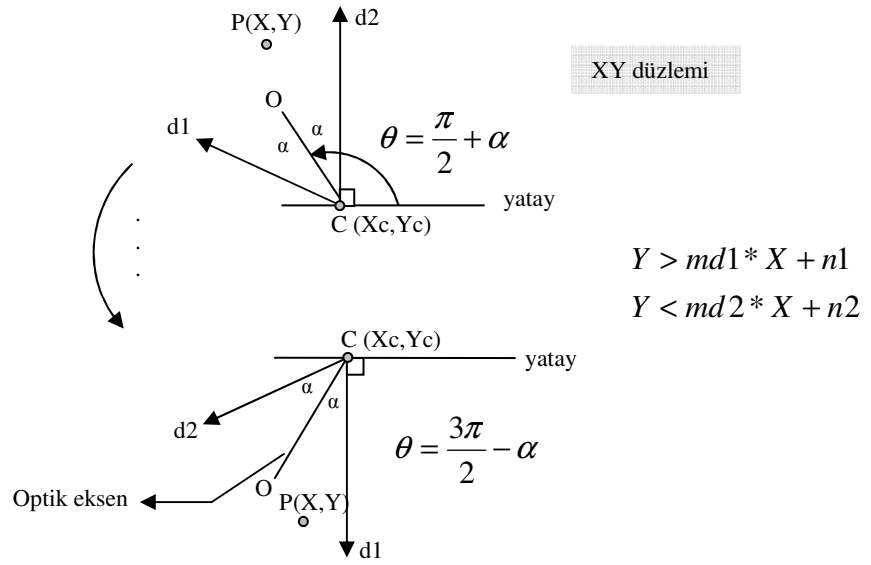
$$5. \theta = \frac{\pi}{2} + \alpha \Rightarrow Y > y1 \text{ ve } X < Xc$$

$$6. \theta = \frac{\pi}{2} - \alpha \Rightarrow Y > y2 \text{ ve } X > Xc$$

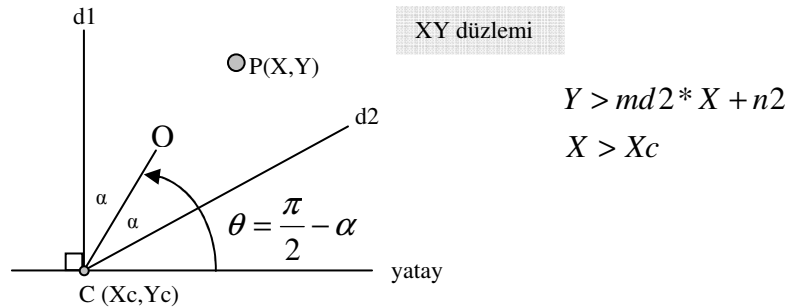
$$7. \theta = \frac{3\pi}{2} - \alpha \Rightarrow Y < y2 \text{ ve } X < Xc$$

$$8. \theta = \frac{3\pi}{2} + \alpha \Rightarrow Y < y1 \text{ ve } X > Xc$$

Şekil 2.36, açının belirtilen sınırlar arasında olması durumunda yatay görüş alanının belirlenmesini göstermektedir (1. durum). Şekil 2.36'da, 'C' kamera odağı, 'CO' kamera optik eksenidir. d1 ve d2 ışınları yatay görüş alanını belirlemektedir. P(X,Y), uzaysal noktanın (X,Y) koordinatlarını belirtmektedir. Şekil 2.37'de ise, dönme açısının özel bir değeri için (6. durum) yatay görüş açısının belirlenmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.36 Kamera dönme açısı  $(\frac{\pi}{2} + \alpha < \theta < \frac{3\pi}{2} - \alpha)$



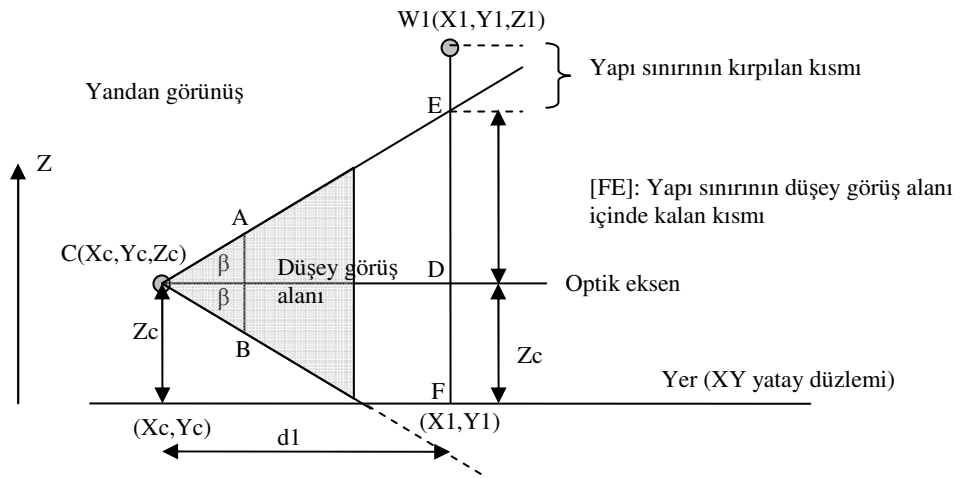
Şekil 2.37 Dönme açısının  $\theta = \frac{\pi}{2} - \alpha$  olduğu durum

#### 2.8.4. Düşey görüş açısının etkisi

Düşey görüş açısı, kameraya yeterince yakın olan YSK'larda önemlidir. Yeterince uzak olan yapı sınırlarının tamamı düşey görüş alanı içinde kaldığı için, görüntü düzlemi içindeki yapı sınırlarında herhangi bir kırılma söz konusu değildir. Fakat kameraya çok yakın olan yapı sınırlarının tamamı düşey görüş alanı içinde olmayabilir. Bu nedenle de görüntü düzlemi içindeki yapı sınırlarında kırılmalar

meydana gelebilmektedir. Bu nedenle SKH ve GKH eşleştirmesinde düşey görüş açısı önemlidir.

Bu çalışmada, yapıların sadece üst sınırları için düşey görüş açısının etkisi hesaba katılmaktadır. Yapıların alt sınırları için düşey görüş açısının etkisi ihmal edilmektedir. Çünkü yapı alt sınırlarında düşey görüş açısı etkisi ile olan kırılmalar önemsiz olmaktadır. Yapılan testler de bu sonucu doğrulamaktadır. İstenirse alt sınırlar için de düşey görüş açısı kolayca hesaba katılabilir.



Şekil 2.38 Yapı sınırının üst kısmının, düşey görüş alanı dışında kalması

Şekil 2.38, bir yapı sınırının üst kısmının, düşey görüş alanı dışında kalması nedeni ile nasıl kırıldığını göstermektedir. Burada 'AB' görüntü düzlemini,  $2\beta$  düşey görüş açısını,  $Z_c$  kameranın (optik eksenin) yerden yüksekliğini,  $W1$  ise, yapı sınırının üst uç koordinatını göstermektedir. Şekil 2.38'de yapı sınırının, düşey görüş alanı dışında kalması nedeni ile kırılan kısmı  $[EW1]$  olmaktadır. Bu kırılma nedeni ile, SKH içinde  $W1$  koordinatı ile belirlenen yapı sınırının sadece  $[EF]$  kısmına ait izdüşüm doğru parçası görülmesi gerekmektedir. Bu nedenle kırılmayan  $[EF]$  sınır uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Şekil 2.38'de  $W1$ 'in düşey görüş alanı içinde olup olmadığını ve eğer değilse, görüş alanı içinde kalan kısmını belirlemek için (2.29)-(2.32) bağıntıları kullanılmaktadır.

$$d = \sqrt{[(X1 - Xc)^2 + (Y1 - Yc)^2]} \quad (2.29)$$

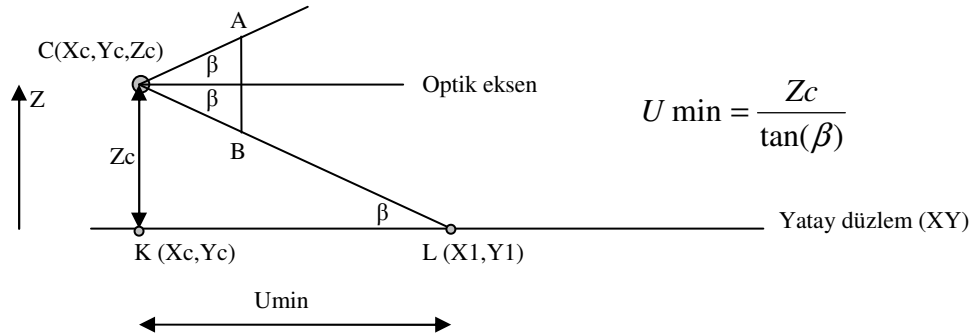
$$|ED| = d * \tan(\beta) \quad (2.30)$$

$$|EF| = |ED| + |Zc| \geq Z1 \quad ; \text{ W1 düşey görüş açısı (alanı) içinde} \quad (2.31)$$

$$|EF| = |ED| + |Zc| < Z1 \quad ; \text{ [EF] görüş açısı içinde} \quad (2.32)$$

(2.29) bağıntısı ile ifade edilen 'd', W1 koordinatının XY düzlemindeki izdüşümünün (W1(X1,Y1)) kamera odak noktasına uzaklığıdır. (2.30) bağıntısındaki |ED| büyüklüğü ise, W1 koordinatının düşey görüş alanı içinde kalan kısmıdır.

Yer üzerinde bulunan bir noktanın düşey görüş açısı içinde kalabilmesi için, bu noktanın kamera odak noktasından en az ne kadar uzakta olması gerektiği şekil 2.39'daki geometriden bulunabilir. Bu uzaklık (KL) düşey görüş açısı ile kameranın yerden yüksekliğine bağlı olmaktadır. Buna göre  $Zc=1\text{m}$  ve düşey görüş açısı  $2\beta=38$  derece ise,  $|KL|=U_{\min}=1/\tan(19)=2.9$  m bulunur.



Şekil 2.39 Yer (XY yatay düzlemi) üzerindeki bir noktanın, düşey görüş alanı içinde kalma koşulu

## 2.9. SKH ile GKH'nın Eşleştirilmesi

Kameranın bütün pozisyon ve dönme açıları için Bölüm 2.8'de açıklanan kriterleri sağlayan YSK'lar tespit edilmektedir. Bu kriterleri sağlayan en az iki adet YSK bulunması durumunda, bir SKH oluşturulmaktadır. Başka bir deyişle her pozisyon ve açı değeri için bir SKH oluşturulmamaktadır. Çünkü istenen bakış açısı değerinin elde edilebilmesi için, SKH'nın en az iki sütun içermesi gerekmektedir. Eğer Bölüm

2.8'deki kriterleri sağlayan YSK sayısı ikiden az ise, program diğer bir pozisyon ve/veya açı değerini için YSK'lar aramaktadır. SKH ikiden fazla da sütun içerebilir; hatta bu eşleşmenin doğrulanması açısından faydalı da olabilir, ancak bu SKH'lar ile çalışmak işlem sayısını arttırdığı gibi, programın (algoritmanın) daha karmaşık olmasına neden olabilir.

Oluşturulan bütün SKH'lar GKH ile kıyaslanmaktadır. Bu kıyaslanmanın sonucunda belli bir eşik değerini aşan eşleşmeler ve bu eşleşmeleri mümkün kılan pozisyon ve dönme açısı değerleri bir matriste saklanmakta ve sonra en büyük eşleşme oranını sağlayan pozisyon ve dönme açısı değerini bulunmaktadır. Bütün pozisyon ve açı değerleri taranamayacağı için, testlerde kullanılan açı artma değerini bir (1) derece, pozisyon artma değerini ise 0.25 m veya 0.5 m olarak seçilmiştir. Testlerde kullanılan eşleşme kriteri (eşleşme oranı) ise %60-%70 arasındadır. Artım değerleri rasgele değer, duyarlık analizi ve testleri sonucunda elde edilen verilere göre seçilmektedir. Bu analiz ve testlerde izdüşüm noktasının özellikle sütun indeksinin uzaysal koordinatlara, açığa ve GPS pozisyonuna karşı duyarlılığı incelenmektedir. Yapılan testlerde, belirli bir uzaysal koordinat için, dönme açısındaki bir derecelik bir değişme izdüşüm noktasının sütun indeksinde 10 piksel kadar bir değişmeye neden olmaktadır. Aynı uzaysal koordinat için, uzaysal noktanın X bileşenindeki 0.4m'lik bir değişme, sütun indeksinin 2 piksel kadar değişmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde aynı uzaysal noktanın 'Y' bileşeni bir metre değiştirildiğinde, izdüşüm noktasının sütun indeksi 8 piksel değişmektedir. Değişken artma değerlerinin çok büyük seçilmesi eşleşmenin başarısız olmasına, çok küçük seçilmesi de, iterasyon sayısını arttırdığı için sonuçların daha uzun sürede alınmasına neden olabilmektedir.

Bir SKH ile GKH'nın eşleşme oranını belirleyebilmek için, SKH görüntü düzlemindeki izdüşüm sütunları ile GKH görüntü düzlemindeki aynı indeksli sütunlar karşılaştırılmaktadır. Eğer GKH ve SKH'daki aynı indeksli sütunlardaki eleman sayıları oranı (eşleşme oranı), önceden belirlenen bir eşik değerini aşarsa, GKH ve SKH'nın eşleştiğine karar verilmektedir. Örneğin SKH görüntü düzleminde iki izdüşüm sütunu varsa ve bunların sütun indeksleri 200 ve 400 ise, GKH görüntü düzleminde 200 ve 400 indeksli sütunlara bakılmaktadır. Daha sonra, SKH görüntü düzlemindeki 200 ve 400 indeksli sütunlardaki toplam eleman sayısı ile GKH görüntü düzlemindeki, 200 ve 400

indeksli sütunlarda bulunan toplam eleman sayıları kıyaslanmaktadır. Bu örnekte SKH eleman sayısı 250 ve GKH'da belirtilen indekslerdeki toplam eleman sayısı da 150 ise, eşleşme oranı  $(150/250)*100=\%60$  olarak elde edilir.

Şekil 2.40'de, keyfi seçilen koordinat sistemine göre, kamera pozisyonu  $C=(0,0,1)$  ve seçilen yapıya ait, ölçülerek elde edilen uzaysal koordinat matrisi  $WC(13.6 \ 33 \ 12; \ 36.6 \ 33 \ 12)$ 'nin sabit tutulduğu, buna karşılık kamera dönme açısının 15-95 derece arasında ve 5'er derecelik artma açısı ile değiştirildiği durum için üretilen SKH'lar görülmektedir. Bu testte sadece 45-65 derece arasında çift sütunlu SKH elde edilebildiği için, toplam 5 SKH üretilmiştir. WC'nin her iki koordinatının yatay görüş alanı içinde olduğu açı bölgesi ayrıca (çizim yolu ile) 42-68 derece olarak hesaplanmıştır. Böylece programda elde edilen sonuçlar teorik olarak da doğrulanmıştır. Bu testte ayrıca 20-90 derece arasındaki açılarda WC'nin en az bir sütunu yatay görüş alanı içinde bulunmaktadır. Fakat tek sütun içeren SKH'lar üretilmemektedir. En az bir koordinat değerinin yatay görüş açısı içinde bulunduğu açı aralığı 17-93 derece olarak hesaplanmıştır. 17 dereceden küçük ve 93 dereceden büyük dönme açıları için ise, WC'nin hiçbir koordinatı yatay görüş alanı içine girmemektedir.

Şekil 2.40'daki SKH'lara ait P1 izdüşüm matrisleri MATLAB'da aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Her bir sütun, iki koordinat ile belirlendiği için toplam dört koordinat değeri hesaplanmaktadır. SKH'da sadece sütunlar yer aldığından, P1 izdüşüm matrislerindeki satır koordinatları belirli bir sütun için aynıdır. P1 matrislerinin elemanları satır ve sütun indeksleri olduğu için tam sayı olması gerekmektedir. Bu nedenle, programda P1 matrisi elemanları en yakın tamsayıya yuvarlatılmaktadır.

P1 =	P1 =	P1 =
183.5983    42.5150	183.1548    92.8295	182.8368    140.4262
14.4187    42.5150	19.2971    92.8295	22.7954    140.4262
178.9394    280.2759	179.0185    325.0416	179.1732    370.9163
65.6668    280.2759	64.7964    325.0416	63.0946    370.9163
$\theta=45$ derece	$\theta=50$ derece	$\theta=55$ derece
P1 =	P1 =	
182.6309    186.1967	182.5289    230.9105	
25.0602    186.1967	26.1821    230.9105	
179.4097    418.6764	179.7379    469.2246	
60.4932    418.6764	56.8829    469.2246	
$\theta=60$ derece	$\theta=65$ derece	

(a) Kamera dönme açısı  $\theta=45$  derece(b) Kamera dönme açısı  $\theta=50$  derece(c) Kamera dönme açısı  $\theta=55$  derece(d) Kamera dönme açısı  $\theta=60$  derece(e) Kamera dönme açısı  $\theta=65$  derece

Şekil 2.40 Kamera dönme açısı 40, 45, 50, 55, 60 ve 65 derece iken üretilen SKH'lar

Şekil 2.40'daki SKH'lar incelendiğinde, kameranın dönmesi ile SKH görüntü düzlemindeki sütun indekslerinin sağa doğru kaydığı görülebilmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü kameranın bir yönde döndürülmesi ile uzaysal noktanın ters yönde aynı açı miktarı döndürülmesi eşdeğer işlemlerdir. Şekil 2.40'da arka arkaya gelen SKH'ların sütunlarındaki kaymaların 48-50 piksel civarında olduğu gözlenmektedir. Bu kaymalara 5 derecelik bir dönme açısı neden olmaktadır. Dolayısı ile 1 derecelik bir



dönme açısında sütun indekslerinde oluşacak kaymaların 10 piksel civarında olduğu söylenebilir. Şekil 2.40'daki SKH'ların MATLAB çıktıları (orijinal) siyah ve beyazdır gri renkler yoktur, bu şekillerde zıtlık sonradan azaltılmıştır.

Şekil 2.41, bakış açısının belirlenmesi testlerinde kullanılan RGB görüntüdür. Başta yapılan varsayımlarda görüntünün dönmemiş olduğu varsayılmaktadır. Uzaysal veritabanı bilgilerine dayanılarak oluşturulan SKH dönmemiş durumda elde edildiği için, dönmüş bir görüntü ile SKH bu haliyle kıyaslanamaz. O nedenle dönmüş olan görüntü bu testlerde ayrıca düzeltilmektedir. Buradaki görüntüyü düzeltmek için, saatin tersi yönünde 2 derece döndürmek gerekmektedir.



Şekil 2.41 Testlerde kullanılan RGB görüntü.

Şekil 2.42'deki görüntü kenar haritası (GKH), optik eksen çevresinde dönmüş olduğundan saat yönünde 2 derece döndürülerek düzeltilmiştir. Sonraki bölümler içinde bu düzeltmeye ilişkin algoritma sunulmaktadır.



Şekil 2.42 Şekil 2.41'deki RGB görüntünün kenar haritası

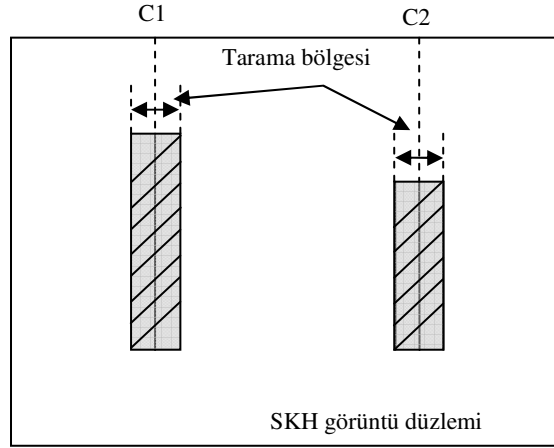
### 2.10. Eşleşme (örtüşme) Arama Algoritması

Bölüm 2.5'de izdüşüm noktasının bulunmasında kullanılan parametreler hatasız ve görüntü alma cihazı ideal ise, hesaplanan izdüşüm koordinatlarının, gerçek görüntüdekilerle aynı olması (örtüşmesi) beklenir. Önceki bölümlerde değinildiği gibi, bu parametrelerden bazıları üretici firma tarafından verilmemektedir. Ayrıca bu parametrelerin değerleri verilse bile, bunların hatalı olma ihtimali her zaman vardır. Ayrıca, özel amaçla üretilmiş kameraların dışında, bütün kameralardaki görüntülerde az da olsa bir bozulma, çarpılma söz konusu olabilmektedir. Başka bir deyişle bir izdüşüm noktasının hesaplanan koordinatı ile gerçekteki koordinatı genellikle farklı olabilmektedir. Bu farklılık, pozisyon ve dönme açısı değişkenlerinin artma aralıkları çok küçük seçilse bile, SKH ve GKH'nin örtüşmesini (eşleşmesini) engelleyebilmekte veya dönme açısının yanlış tespit edilmesine neden olabilmektedir.

SKH ve GKH'nin örtüşmesini engelleyen bir başka neden, uzaysal veritabanındaki yapı koordinatlarındaki hatalardır. Bunun çok çeşitli sebepleri olabilir. Veritabanının yeterince hızlı güncellenememesi, yapı koordinatlarının hatalı kaydedilmesi veya hatalı elde edilmesi bu sebeplerden bazıları olabilir. Yapı koordinatlarındaki hatalar bir metre gibi büyük miktarlarda olursa, SKH ve GKH'nin

örtüşmesi ya mümkün olmayabilir ya da elde edilen dönme açısının değerinde büyük hatalar olabilir.

SKH ve GKH'ın yukarıda ifade edilen nedenlerden dolayı örtüşememe (eşleşmeme) problemini çözebilmek için, SKH'daki sütun indeksleri belirli bir arama bölgesi içinde değiştirilmekte (şekil 2.43) ve sütun indekslerinin bu bölge içindeki bütün değişimleri için GKH ile örtüşme olup olmadığına bakılmaktadır. Bu çalışmadaki testlerde kullanılan tarama bölgesi genişlikleri 2-6 piksel arasında değişmektedir. Tarama bölgesinin çok geniş belirlenmesi, yanlış eşleşmelere neden olabileceği veya elde edilecek dönme açısının toleransını arttırabileceği için arzu edilmemektedir. SKH'da ardışık iki pozisyon ve/veya açı değişkenlerine karşılık gelen sütun indeksleri arasındaki fark, yapı sınırından olan uzaklığa bağlı olduğu için, tarama bölgesinin genişliğinin belirlenmesinde bu faktör dikkate alınabilir. Bunun için yapı sınırlarının ortalama uzaklığı hesaplanabilir ve tarama bölgesi genişliği buna göre belirlenebilir.



Şekil 2.43 C1 ve C2 sütun indeksleri çevresindeki tarama bölgesi

## 2.11. Optik Eksen Çevresinde Dönmüş Görüntülerin Düzeltilmesi

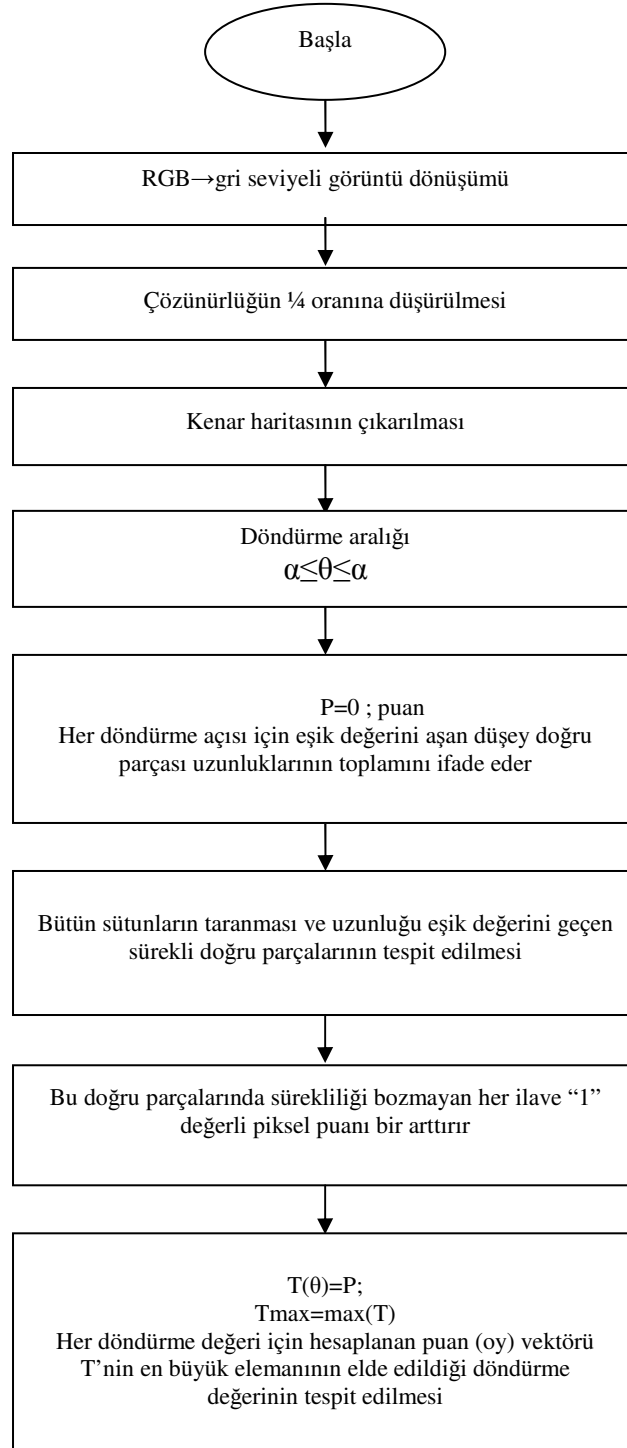
Yukarıda kameranın sadece düşey eksen (z) çevresinde dönebildiği varsayılmaktadır. Gerçekte kamera, hareket nedeni ile her üç ekseninde dönme hareketi yapabilmektedir. Eşleşme oranını etkileyen en önemli dönmeler ise optik eksen çevresindeki dönmeler olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, optik eksen çevresindeki kamera dönmeleri düzeltilerek, yukarıdaki varsayımların bir miktar yumuşatılması ve

sistemin geliştirilmesine doğru bir adım atılması hedeflenmektedir. Düzeltme algoritmasında çevredeki bina, elektrik direği gibi, düşey sınırları olan yapıların varlığından faydalanılmaktadır. Yapılan incelemelerde, görüntü doğal halde (dönmemiş) iken, görüntünün kenar haritasındaki kesintisiz düşey doğru parçalarının (genellikle yapı sınırları) piksel cinsinden toplam uzunluğu, dönmüş durumlara göre daha büyük bulunmuştur. MATLAB'ta yazılan düzeltme programı (şekil 2.44), önce yapay görüntülerle daha sonra da gerçek görüntülerle test edilmiş ve görüntüde düşey yapıların yeterli miktarda olması durumunda, %100'e yakın başarı elde edilmiştir.

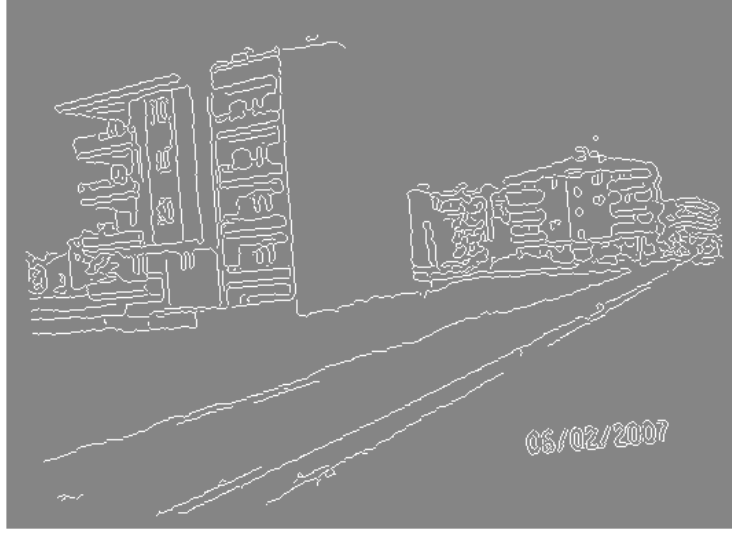
Şekil 2.44'deki akış diyagramında görülen ' $\alpha$ ' açısı, görüntünün alt ve üst döndürme sınırlarıdır. ' $\alpha$ ' açısının değeri, görüntünün en fazla ne kadar dönmüş olabileceği ile ilgilidir. Algoritmada belirtilen  $T(\theta)$ , her döndürme açısı için, görüntü kenar haritasının bütün sütunları üzerinde hesaplanan toplam puan değerlerinin saklandığı matrisi ifade etmektedir.

Bu ilke, bir kamera görüntüsünden elde edilen şekil 2.45'deki kenar haritasının tüm sütunlarına uygulanarak toplam kesintisiz piksel sayıları hesaplanmıştır. Bu şekilde elde edilen sonuçlar tablo 2.1'de gösterilmektedir. Tablo 2.1'de geçen eşik değeri, kriterin (P) puan kazanması için gerekli olan koşulu belirlemektedir. Buradaki eşik, kenar haritasının belirli bir pozisyonunda, P'ye artı puan eklemek için bir sütun üzerinde kesintisiz olması gereken en az piksel sayısı olmaktadır. Eşik değerinin üzerindeki her kesintisiz piksel için programda puan (P) bir arttırılmaktadır. Programın başında  $P=0$  atanmaktadır. Eğer eşik değeri beş ise, P'nin bir değer kazanabilmesi için bir sütun üzerinde ard arda bağlanmış en az beş piksel gereklidir. Aralıksız beş pikselden oluşan bir gruba bağlanan her piksel için P bir arttırılmaktadır.

Şekil 2.45'de saatin tersi yönünde 5 derece döndürülmüş bir görüntüye ait kenar haritası gösterilmektedir. Bu görüntü için hesaplanan hizalama puanı 692 olarak bulunmuştur. Şekil 2.46'da ise aynı görüntünün 10 derece döndürülmüş kenar haritası görülmektedir. Bu kenar haritasında ise hizalama puanı 212 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, dönme açısı arttırıldığında hizalama puanı, başka bir ifadeyle kenar haritasının sütunları üzerinde bulunan toplam *kesintisiz* piksel sayısı azalmaktadır.



Şekil 2.44 Optik eksen çevresindeki dönmelerin düzeltilmesi algoritmasının akış diyagramı

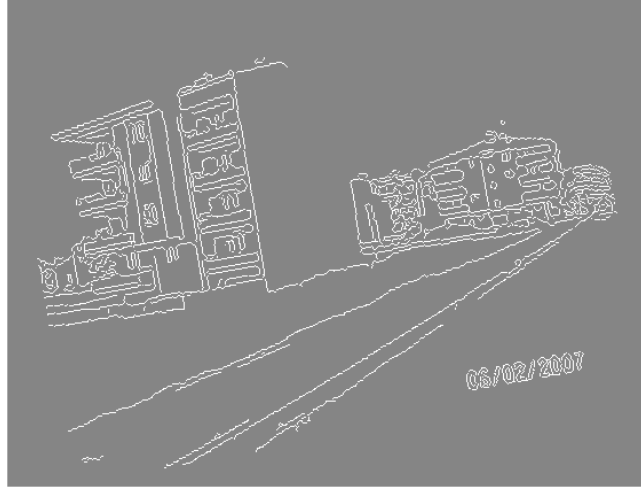


Şekil 2.45 Saatin tersi yönünde 5 derece döndürülmüş kenar görüntüsü.

Tablo 2.1 Dönme açısı ile hizalama puanı arasındaki ilişki.

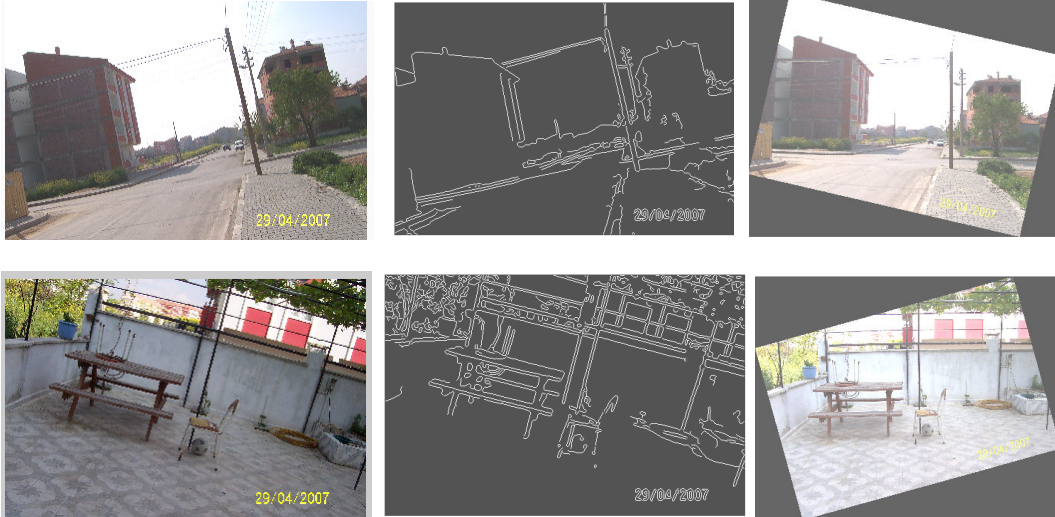
Açı (derece)	Puan=kriter (eşik =2)	Puan=kriter (eşik=5)
Sıfır(dönmemiş)	1914	1117
5(saatin tersi yönde)	1653	692
10 "	1369	212
15 "	1129	45
-5(saat yönü)	1627	648
-10 "	1310	202
-15 "	1054	16

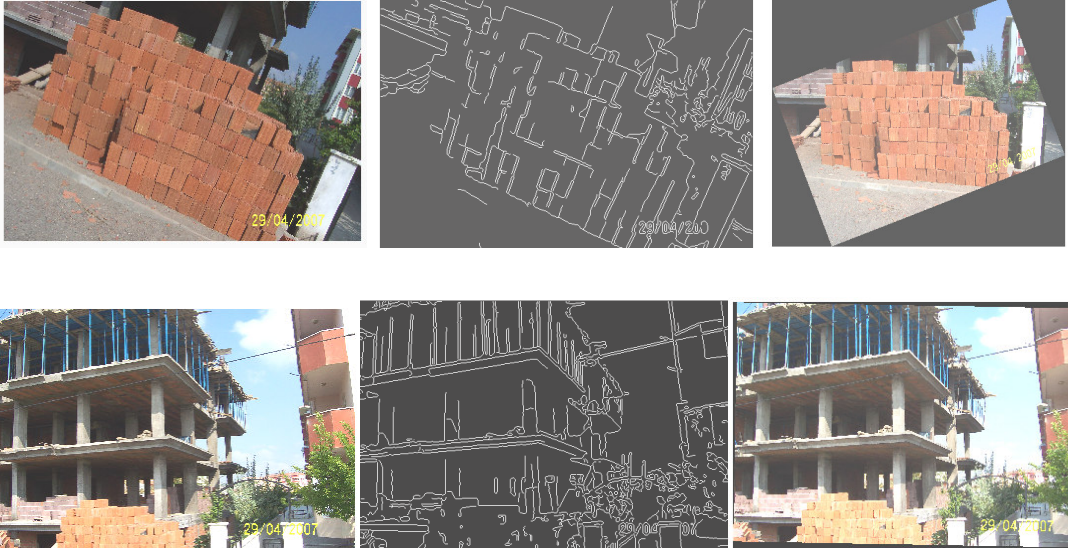
Şekil 2.45'deki görüntünün eşik 5 iken hizalama kriteri 692 bulunmuştur. Şekil 2.46'daki kenar haritasında hizalama puanı 212 olarak hesaplanmıştır (eşik 5). Görüntünün parlaklığı bir miktar arttırılmıştır.



Şekil 2.46 Saatin tersi yönünde 10 derece döndürülmüş ikili görüntü.

Şekil 2.47’de, döndürülmüş olarak çekilen test görüntüleri ile bu görüntüleri ilişkin kenar haritaları ve düzeltilmiş görüntüler verilmektedir. Bu şekillerde görüntüler soldan sağa doğru, sırası ile, RGB görüntü, bu görüntünün kenar haritası, ve düzeltilmiş görüntüdür. İlk satırdaki görüntünün 13 derece döndüğü hesaplanmıştır. İlk üç testin sonucu başarılı olmasına rağmen, dördüncü sıradaki (en alttaki) test sonucu başarısız olmaktadır. Düzeltmenin başarısız olmasının nedeni, görüntüde tam olarak düşey olmayan düzensiz nesnelere nispeten çok olmasıdır.





Şekil 2.47 Düzeltme algoritması uygulaması

Düzeltme algoritmasının girdisi bir RGB görüntü ve döndürme sınırlarıdır. RGB görüntü önce gri seviyeli görüntüye dönüştürülmekte, sonra da işlem sayısını azaltmak için, çözünürlüğü  $\frac{1}{4}$  oranına düşürülmektedir. Çözünürlüğü azaltılmış gri seviyeli görüntüye ‘Canny’ kenar operatörü uygulanarak, görüntünün kenar haritası elde edilmektedir. Elde edilen kenar haritasında her bir dönme açısı değeri için, sürekli (kesintisiz) düşey doğru parçası oluşturan ve belli bir eşik değerini aşan piksel (1 değerli) sayısı hesaplanmaktadır. Programda iki ve beş piksellik eşik değerleri kullanılmaktadır. Farklı eşik değerleri için elde edilen sayısal puan değerleri farklı olmasına rağmen sonuç aynı kalmaktadır; yani eşik değeri çok büyük veya bir olarak seçilmemek koşulu ile, sonucun eşik değerinden bağımsız olduğu görülmektedir. Bu çalışmada önerilen eşik değerleri iki-beş arasındadır.



### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu tezde, GÖ'ye yol yardımı için düşünülen GPS-PC tabanlı navigasyon sistemine, görüntü alabilen bir cihazın (kamera) ve uzaysal veritabanı bilgisinin entegre edilmesi önerilmektedir. Uzaysal veritabanı bilgisi, keyfi seçilen (lokal) bir koordinat sistemine göre, ölçüm sonucu elde edilen yapı sınır koordinatları kullanılarak oluşturulmaktadır. Verilerin bu şekilde elde edilmiş olması algoritmanın test edilmesine bir engel oluşturmamaktadır. Çünkü global (GPS) koordinat sisteminin kullanılması durumunda diğer yapı vb. sınır koordinatları da bu koordinatlara bağlı olarak değişmektedir. Bu şekilde, yol yardım sistemine görsel bilgi ve coğrafi bilgi sistemi verileri de eklenmiş olmaktadır.

Yapılan çalışmada GÖ'nün pozisyonunu belirlemek için bir GPS kullanılmakta ve GPS pozisyon verisi her saniye elde edilebilmektedir. GPS uydu sinyalleri, yüksek binalar ve kanyonlar gibi yapılar tarafından bloke edilebilmektedir. Bu çalışma pozisyon tabanlı olduğundan, GPS uydu sinyallerinin kesintisiz olduğu ve yüksek yapılar tarafından kapatılmadığı varsayılmaktadır. Fakat bu sınırlama çok katı bir sınırlama değildir. GÖ yol sınırları içinde kalmak şartı ile pozisyon bilgisindeki 3-5 saniyelik kesintiler, bakış açısının belirlenmesinde büyük hatalara neden olmayabilir. Pozisyon bilgisinin kaybolduğu 3-5 saniye içinde GÖ yaya ise, normal şartlar altında 4-6 metre kadar yer değiştirmiş olur. Alınan en son pozisyon bilgisine dayanarak, görüş açısı bir miktar hata ile hesaplanabilir. Bu hatanın büyüklüğü, GPS pozisyon hatasına bağlıdır. GÖ'nün ortalama 5 km/h gibi bir hareket hızına sahip olduğu düşünülürse, bir saniye sonundaki yer değiştirme miktarı 1.25m kadar olmaktadır. Pozisyon kaybı durumunda bu yer değiştirme değeri en son GPS pozisyon bilgisine ilave edilebilir ve bu durumda elde edilen bakış açısının daha az hata içermesi beklenebilir.

Bele bağlanan bir kamera ile istenen sıklıkta görüntü alınabildiği ve GÖ'nün hareketi sırasında kamera optik ekseninin, yatay kaldığı varsayılmaktadır. Gerçekte kamera, hareket nedeni ile her üç ekseninde dönme hareketi yapabilmektedir. Yapılan çalışmada kameranın dönmediği varsayılmasına rağmen, kameranın düşey düzlemdeki

(optik eksen çevresindeki) dönmeleri sonucu elde edilen görüntüler düzeltilmektedir. Düzeltme algoritmasında çevredeki bina, elektrik direği gibi, düşey sınırları olan yapıların varlığından faydalanılmaktadır. Yapılan incelemelerde, görüntü doğal halde (dönmemiş) iken, görüntünün kenar haritasındaki düşey doğru parçalarının (genellikle yapı sınırları) piksel cinsinden toplam uzunluğu, dönmüş durumlara göre daha büyük bulunmuştur. MATLAB'ta yazılan düzeltme programı, önce yapay görüntülerle daha sonra da gerçek görüntülerle test edilmiş ve görüntüde düşey yapıların yeterli miktarda olması durumunda, %100'e yakın başarı elde edilmiştir. Bu düzeltme algoritmasına ilişkin ayrıntılar 2.ci bölümde sunulmaktadır.

Kameradan alınan görüntü dizisinden her biri belirli işlemlerden geçirilmektedir. Öncelikle, alınan görüntülerin mümkün olduğu kadar düzgün bir kenar haritasının elde edilmesi gerekmektedir. Burada geçen 'düzgün' kelimesi, kenar haritasında elde edilen kenarların mümkün olduğu kadar sürekli olmasını ifade etmektedir. Gerçek bir görüntünün kenar haritasında düşey kenarlar süreksiz olabilmekte ve birden fazla sütun üzerinde bulunabilmektedir. Kamera görüntüsü kenar haritasında (GKH) kenarların süreksiz şekilde elde edilmiş olmasının getirdiği önemli sorunlar vardır. Bu problemlerin en önemlisi alt paragraflarda bahsedilen 'eşleştirme' işleminin zorlaşmasıdır.

Kamera görüntüsünden 'düzgün' kenar haritasını elde etmek için, görüntünün çözünürlüğü en ve boydan  $\frac{1}{4}$  oranına düşürüldükten sonra 'Canny' kenar operatörü uygulanmıştır.  $\frac{1}{4}$  çözünürlüklü kenar haritası, daha önce elde edilen diğer kenar haritaları ile kıyaslandığında, kenarların daha belirgin ve sürekli olduğu görülebilmektedir. Çözünürlüğün düşürülmüş olması işlem sayısını da azaltmaktadır. Bu nedenle eşleştirme işlemlerinde bu yolla elde edilen kenar haritasının kullanılmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir. Bu şekilde elde edilen kenar haritasının kullanılması eşleştirmede bir problem oluşturmamıştır.

Yapılan çalışmada işleme giren verilerden birisi, yukarıdaki paragrafta tartışılan kamera kenar görüntüsü, diğeri ise, onunla eşleşmesi gereken ve veritabanındaki yapı sınırları kullanılarak elde edilen 'sözde kenar haritası-SKH' dir. Eşleştirme işleminin başarılı bir şekilde sonuçlanabilmesi için, iki ayrı yolla elde edilen kenar haritalarının mümkün olduğu kadar eşdeğer olması gereklidir. Bu iki kenar haritasının tam eşdeğer

olması beklenemez. Çünkü 'sözde kenar haritası' hatasız şekilde elde edilse bile, kamera görüntüsü kullanılarak elde edilen kenar haritasında (en iyi şekilde elde edilse bile) birçok süreksizlik olabilir. Bu nedenle eşleştirme işlemi hiçbir zaman % 100 başarılı (eşleşme oranı % 100) olamaz, fakat eşleştirmenin başarılı olduğuna karar vermek için, bir eşik değeri (kriter) kullanılabilir. Bu kriter SKH'nın '1' içeren sütunlarının GKH'nın aynı numaralı sütunları ile eşleşme oranı olup, çalışmada kullanılan eşik değeri %60'dır. Bu eşik değeri test sonuçlarına göre belirlenmektedir. Yapılan eşleştirme testlerinde elde edilen eşleşme oranları %70'in üzerine kadar çıkabilmektedir.

Yatay görüş açısı içinde kalan bütün YSK'nın başka hiçbir koşula bağlı olmadan seçilmesi durumunda, elde edilecek SKH eşleştirme için genellikle uygun olmayabilir. Bu nedenle, SKH'nın elde edilmesinde kullanılan uzaysal veritabanındaki YSK'nın seçilmesinde belirli şartların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. YSK o andaki GPS pozisyon değerine bağlı olarak seçilmektedir. Bunlar uzaklık, yatay ve düşey görüş açısı ve yapı sınır cepheleridir. GÖ'den çok uzaklarda seçilen YSK'lara karşılık gelen GKH'da yapı sınırları birbirine çok yakın ve hatta ayırt edilemez durumda olabilmektedir. Bu nedenle, GPS pozisyonu ile ilişkili olan YSK'lar içinden, sadece belirli yarıçaplı bir çember içinde kalan yapı sınır koordinatlarının seçilmesi gerekmektedir. Bu çemberin merkezi, GPS koordinatından geçen ve yol sınırlarını kesen doğru üzerinde ve yol ortasında bulunmaktadır. Çember yarıçapı ise, yapılan çalışmada 30-40 metre arası seçilmektedir.

GÖ'nün yol sınırları içinde kaldığı kabul edildiğinden, kameranın odak noktası koordinatlarının (GPS koordinatları) değişim bölgesi yol sınırları içindedir. Bu nedenle YSK'nın yanında yol sınır koordinatlarına da ihtiyaç bulunmaktadır. Yazılan programda uzaysal veritabanından alınan koordinat matrisinin ilk dört satırının yol sınırlarına ait olduğu varsayılmaktadır. Bu koordinatlar yol sınır bölgesini tanımlamaktadır.

Yapılan çalışmada yapı sınırlarının sadece yol cephesindeki koordinatları kullanılmakta, yola göre arka cepheye ait olan yapı sınırları ise, kullanılmamaktadır. Burada geçen kapatılma kelimesi, belirli bir kamera pozisyonu için, bakış yönü ne olursa olsun, ilgili sınırın bu pozisyondan görünmemesini ifade etmektedir.

SKH'nın oluşturulmasında, GÖ belirli bir pozisyonda iken, kameranın optik ekseninin yatay eksenden itibaren saatin tersi yönünde adım adım 360 derece döndürüldüğü düşünülmektedir. Her dönme açısı (ve kamera pozisyonu) için bir SKH üretilmekte ve GKH ile kıyaslanmaktadır. Bu nedenle YSK seçiminde kameranın yatay görüş açısının da dikkate alınması gerekmektedir.

Yatay görüş alanı (açısı) içinde kalan YSK'ı belirleyebilmek için, kamera parametrelerinden olan yatay görüş açısının bilinmesi gerekmektedir. Yatay ve düşey görüş açısı çoğu zaman kamera üreticileri tarafından verilmemektedir. Bu nedenle görüş açıları deneysel olarak, bölüm 2'de açıklandığı şekilde bulunmaktadır.

Yapılan çalışmada kullanılan kameranın yatay görüş açısı yaklaşık 52 derece, düşey görüş açısı da 36 derece olarak hesaplanmıştır. Kameranın odak uzaklığı bilindiği için, bu değerler aynı zamanda CCD sensör dizisinin boyutlarının da belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Buna göre kameranın hesaplanan CCD sensör dizisi boyutları yaklaşık 37x27mm kadar olmaktadır.

Yatay görüş açısı bilindiği için, kameranın herhangi bir dönme açısı ve pozisyonu için, yatay görüş alanını belirleyen ve kamera odak noktasında kesişen ışınlar belirlenebilir. Bu ışınların belirlediği açının iç bölgesi yatay görüş alanıdır. Bir YSK'nın yatay görüş alanı içinde olup olmadığını belirleyebilmek için, belirtilen iki ışınla ilgili eşitsizlik sistemini sağlaması gerekmektedir.

Düşey görüş açısı, kameraya yeterince yakın olan YSK'larda önemli olmakta ve hesaba katılması gerekmektedir. Kameradan yeterince uzak olan yapı sınırlarının tamamı düşey görüş alanı içinde kaldığı için, görüntü düzlemi içindeki yapı sınırlarında herhangi bir kırılma söz konusu değildir. Kameraya çok yakın olan yapı sınırlarının tamamı düşey görüş açısı içinde kalmayabilir; başka bir deyişle bir kısmı kırılabilir. Bu halde SKH'da kırılan kısmın olmaması gereklidir.

Yukarıda ifade edilen şartları sağlayan yapı sınır koordinatları belirlendikten sonra, bu YSK'ların görüntü düzlemindeki izdüşüm koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir. Yapılan çalışmada SKH'ı oluşturmakta iki tane yapı sınırı kullanılması yeterli görülmektedir. Başka bir deyişle, yukarıdaki şartları sağlayan ikiden fazla YSK

olması durumunda bunlardan sadece ikisi işleme girmekte, diğerleri kullanılmamaktadır. Ancak ikiden fazla YSK doğrulamak amacıyla kullanılabilir. Çok sayıda YSK'nın kullanılması çok işlem ve algoritmanın (programın) daha karmaşık olması anlamına gelmektedir. Programın karmaşıklığı, biraz daha fazla zaman harcanarak üstesinden gelinebilecek bir problem olabilir, ancak çok işlem, program sonuçlarının daha geç alınması demek olduğundan genellikle arzu edilmemektedir.

Yapılan çalışmada, uzaydaki bir noktanın kamera görüntü düzlemindeki izdüşümünü belirleyebilmek için, doğru ve düzlemin arakesit noktası hesaplanmaktadır. Burada sözü edilen düzlem görüntü düzlemini de içine alan düşey düzlem, doğru ise, kamera odak noktası (GPS koordinatı) ile uzaysal noktanın belirlediği doğrudur. Doğru, arakesit noktasının bulunmasını kolaylaştırdığı için, parametrik denklemi ile ifade edilmektedir.

İzdüşüm noktasının koordinatlarını bulma analizi, önce düzlemin döndürülmemiş durumu için, sonra da 'z' eksenini çevresinde belli bir miktar döndürülmüş durumu için, ayrı ayrı yapılmaktadır. Uygulanan yöntemin doğru çalışıp çalışmadığını anlayabilmek için, izdüşüm koordinatları, sezgisel olarak bilinebilen uzaysal noktalar kullanılarak denenmiş ve test sonuçlarına göre programın (yöntemin) doğru çalıştığı gösterilmiştir. İzdüşüm programı doğru çalıştığına göre, programın doğru sonuçlar üretmesi, kamera parametrelerinin ve uzaysal nokta koordinatlarının doğru şekilde verilmesine (veya belirlenmesine) bağlı olmaktadır. Bu test sonuçları 3. bölümde sunulmaktadır.

Uzaydaki bir noktanın görüntü düzlemindeki izdüşümünün koordinatları, kamera parametrelerinin, kamera dönme açısının ve uzaysal noktanın koordinatlarının bir fonksiyonu olmaktadır. Kamera parametreleri CCD sensör dizisinin boyutları veya görüş açısı, CCD sensör dizisi eleman sayısı (çözünürlüğü) ve kamera odak uzaklığıdır. Kamera parametrelerinde veya YSK'da bir miktar hata olduğunda, izdüşüm noktasının koordinatları da hatalı olarak elde edilmektedir. Kamera parametrelerinin ve YSK'nın doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu verilere dayanılarak, GKH'nın bir benzeri (SKH) oluşturulmaktadır.

Kamera parametrelerinin değerleri verilse bile, bunların hatalı olma ihtimali her zaman mümkün görünmektedir. Ayrıca, özel amaçla üretilmiş kameraların dışında, bütün kameralardaki görüntülerde az da olsa bir bozulma, çarpılma söz konusu olabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı bir izdüşüm noktasının hesaplanan koordinatı ile gerçekteki koordinatı genellikle farklı olabilmektedir. Bu farklılık, SKH ve GKH'nın örtüşmesini (eşleşmesini) engelleyebilmekte veya dönme açısının yanlış tespit edilmesine neden olabilmektedir. İzdüşüm noktasının koordinatlarının önemli olduğu bu gibi durumlarda, genellikle kamera kalibrasyonunun yapılması gerekli olmaktadır.

SKH ve GKH'nın örtüşmesini engelleyen veya açının yanlış tespit edilmesine neden olabilen bir başka faktör, uzaysal veritabanındaki yapı koordinatlarındaki hatalardır. Bunun çok çeşitli sebepleri olabilir; veritabanının yeterince hızlı güncellenememesi, yapı koordinatlarının hatalı kaydedilmesi veya hatalı elde edilmesi bu sebepler arasında sayılabilir. Yapı koordinatlarındaki hataların bir metre gibi büyük miktarlarda (veya oran olarak %5-10 gibi) olması durumunda, SKH ve GKH'nın örtüşmesi ya mümkün olmayabilir ya da (örtüşme olsa bile) elde edilen bakış açısının değerinde büyük sapmalar olabilir.

GKH'daki kenar pikselleri bir piksel kalınlığında olduğundan, SKH'daki sütun indekslerinin hata sonucu bir piksel bile kayması, örtüşmenin başarısız olmasına (bakış açısının belirlenmemesine) veya bakış açısının yanlış belirlenmesine neden olabilmektedir. Bu problemi çözebilmek için, yapılan çalışmada, 'eşleşme arama algoritması' kullanılmaktadır. Bu algoritmanın avantajı, üç boyutlu uzayda bir nesnenin konumunu, yönünü ve boyutunu ölçmekte gerekli bir ön işlem niteliğinde olan kamera kalibrasyonunu (Shapiro ve Stockman 2001) gereksiz kılmasıdır. Başka bir deyişle, algoritmanın izdüşüm noktasının değişimine olan duyarlılığı azaltılmış olmaktadır. Bu algoritma sayesinde, herhangi bir nedenle hatalı elde edilmiş olan izdüşüm noktaları kullanılarak elde edilen SKH'nın GKH ile eşleşmesi sağlanmaktadır. Bu algoritmanın sağladığı başka bir avantaj da programda kullanılan pozisyon ve açı değişkenlerinin artım değerlerinin belirlenmesinde esneklik sağlamasıdır. Diğer bir ifade ile değişkenlerin artım değerlerini çok küçük seçmek gerekmemektedir. Bu da iterasyon sayısının azalması anlamına geldiğinden, sonuç alma süresi kısalmaktadır. Bu algoritmanın dezavantajı, bakış açısının bulunmasında bir miktar hataya neden

olmasıdır. Fakat bu dezavantaj, sağladığı avantajın yanında önemsiz görünmektedir. Bakış açısının belirlenmesinde karşılaşılan hata, algoritmada tarama bölgesi genişliğinin küçük seçilmesi halinde kabul edilebilir ölçüler içinde kalmakta ve yapılan testlerde birkaç dereceyi geçmemektedir. Bu mertebede bir hata ise bakış açısının belirlenmesinde önemli bir hata olarak düşünülmemektedir.

Eşleşme arama algoritması, sadece SKH'daki sütun indekslerine uygulanmaktadır. Çünkü eşleştirmede, satır indeksleri sütun indekslerine göre daha az önem arz etmektedir. SKH'daki satır indeksinde birkaç piksellik bir hata eşleşmeyi çok etkilememekte, fakat eşleşme oranını etkilemektedir. Bu nedenle satır indekslerindeki büyük değişimler, eşleşme oranında büyük değişmelere neden olabileceği için bakış açının doğru olarak tespit edilmesini engelleyebilir. Fakat sütun indeksindeki bir piksellik bir hata SKH ve GKH'ın örtüşmesini engelleyebilmektedir.

Bu algoritmada, SKH'daki sütun indeksleri, orijinal sütun indeksini merkez alan 2-6 piksel genişliğinde bir bant içinde değiştirilmektedir. Örneğin bant genişliğinin iki piksel olması durumunda, sütun indekslerinin her bir kombinasyonu için olmak üzere dört farklı SKH üretilmektedir. Tarama bölgesi genişliği üç piksel seçilirse, belirli bir SKH için, GKH ile eşleştirilen dokuz adet SKH üretilmektedir. Başka bir deyişle, belli bir YSK takımı için üretilen SKH sayısı, tarama bölgesi genişliğinin karesi kadar olmaktadır. Anlaşıldığı gibi tarama bölge genişliği arttıkça SKH ve GKH kıyaslama sayısı da artmaktadır bu da sonuç alma zamanının uzaması anlamına gelmektedir. Yapılan çalışmada tarama bölgesi genişliğinin iki piksel seçilmesi önerilmektedir.

Doğrultu bulma programındaki döngülerde iki pozisyon değişkeni ile açı değişkeni kullanılmaktadır. 'Z' yükseklik değişkeni programda sabit alınmaktadır. Kameranın yerden yüksekliğinin 1 ile 1.5 metre arasında değişebileceği kabul edildiği için 'Z' yükseklik değişkeni döngüye eklenebilir. Fakat kameranın yüksekliğindeki 0.5 metrelik bir değişme izdüşüm noktalarının sütun indekslerinde önemli bir değişikliğe neden olmamaktadır. Bu sebeple 'Z' değişkeni önceden döngü içinde olmasına rağmen sonra döngüden çıkarılmıştır. Bu değişikliğin getirdiği en önemli avantaj, bakış açısının belirlenme süresinin önemli ölçüde kısalmış olmasıdır. 'Z' değişkeninin değişim aralığının 1 metre ve artım değerinin de 0.1m olması halinde, programın sonuçlanma

süresi, 'Z değişkeninin kullanılmadığı (sabit olduğu) duruma göre 9 kat daha uzun (10 katı) olabilmektedir.

Yapılan çalışmada, programda kullanılan değişkenlerin artım değerlerini optimum seçebilmek için, izdüşüm noktasının duyarlık analizi yapılmıştır (burada sadece sonuçları sunulmuştur). Değişken artım değerlerinin çok küçük seçilmesi iterasyon sayısını arttırabilmekte, çok büyük seçilmesi de bakış açısının bulunmasını zorlaştırabilmektedir. İzdüşüm noktasının duyarlık analizi, izdüşüm noktasının koordinatlarının yapı sınır koordinatlarına, kamera (GPS) koordinatlarına ve dönme açısına ne kadar duyarlı olduğunun belirlenmesi işlemidir. Bu analiz hem teorik hem de deneysel olarak belli değerler verilerek yapılmıştır. Teorik olarak elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında ihmal edilebilecek kadar küçük farklar bulunmaktadır. Teorik hata analizi diferansiyel alınarak yapılmaktadır. Bu verilere dayanılarak ve eşleşme arama algoritması da düşünülerek, X ve Y pozisyon değişkenlerinin artım değerleri, 0.5m gibi seçilmekte ve açı değişkeni artım değeri de bir derece olarak seçilmektedir.

Yapılan çalışma gerçek görüntüler kullanılarak test edilmiştir. Bu testlerde şekil 2.45'deki görüntü kullanılmıştır. Bir koordinat sistemi seçilerek bu koordinat sistemine göre yapının sınır koordinatları ve yol sınır koordinatları belirlenmiştir. Bu testlerde kamera, seçilen koordinat sisteminin orijinine yakın bir yere konumlandırılmaktadır.

Testlerde pozisyon bölgesinin genişletilmesi, eşleşme sayısını arttırmakta ve buna bağlı olarak da elde edilen bakış açısının değerinde bir miktar değişmeye neden olabilmektedir. Bu eşleşmeler içinden en büyük eşleşme oranını sağlayan açı değeri belirlenmektedir. Bu sistem pozisyon tabanlı bir yön bulma sistemi olduğundan pozisyonun değişmesi, hesaplanan görüş açısını da değiştirmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur. GPS pozisyon değeri bir hata bölgesi içinde değiştiğinden, pozisyon değişkenlerinin de bu hata bölgesi içinde değiştirilmesi gerekmektedir. GÖ'nün yol sınırları içinde kaldığı varsayıldığından, bu hata bölgesi bir çemberin iç bölgesi olmayıp, XY düzleminde, paralelkenar şeklinde, yolun belirli uzunluktaki iç bölgesi olmaktadır.



Testlerde GPS pozisyon aralığı içinde birden çok eşleşme olabilmektedir. Fakat bu eşleşmelerde elde edilen bakış açısı değerleri arasındaki farklar birkaç dereceyi geçmemektedir. Açıdaki bu küçük değişimler ortalama bakış yönünün belirlenmesini engellememektedir.

GPS pozisyon aralığının değişmesi eşleşme sayısının ve en büyük eşleşme oranının değişmesine neden olabilmesine rağmen, açı değişkeninin değişme aralığının değiştirilmesi aynı sonucu doğurmamaktadır. Başka bir ifadeyle, açı değişim bölgesinin artırılması eşleşme sayısını ve eşleşme açısını etkilememektedir. Bu da istenen ve beklenen bir sonuçtur.

Aşağıda MATLAB test sonuçlarından bazılarının değerlendirilmesi sunulmaktadır. Her bir YSK için bir koordinat kullanılmaktadır. Bu koordinat yapı sınırının üst nokta koordinatı olmaktadır. YSK'nın alt sınır koordinatının yer seviyesinde olduğu kabul edilmekte ve bu koordinat değeri programda ayrıca elde edilmektedir.

Bu örneklerde GÖ pozisyonunun yol sınırları içinde kaldığı bilindiği için, Xc pozisyon değişkeni, Yc'ye bağlı olarak hesaplanmaktadır. Başka bir ifade ile Xc değişkeninin sınırlarını belirleyen Xcc1 ve Xcc2 değerleri Yc değerlerine bağımlı olmaktadır. Yol sınır eğimlerinin, kullanılan koordinat sistemine göre yatay olmadığı durum için Yc bağımsız değişken, Xc bağımlı değişken olmaktadır. Diğer durumlarda Xc bağımsız, Yc bağımlı değişken olmaktadır. Bakış açısı bulma programında kullanılan Yc değişkeninin en büyük artma değerleri  $\pm 6$  seçilmektedir. Bu değer aslında GPS pozisyon hatasının en büyük değeridir.

Programda, eşleşme sayısı, en büyük eşleşme oranı (maxrm), en büyük eşleşme oranını sağlayan kamera pozisyonu koordinatları ile dönme açısı değerleri, en büyük eşleşme oranını sağlayan sütun indeksleri değerleri hesaplanmaktadır. Ayrıca, eşik değerini aşan bütün eşleşmelerin kaydedildiği 's' matrisi elemanları da MATLAB sonuçları içinde yer almaktadır (Ek-1). Buradaki 's' matrisinin birinci sütun elemanları, eşik değerini aşan eşleşme oranlarıdır. Diğer sütunlar ise sırası ile ilgili eşleşmeyi sağlayan Xc, Yc, Zc, dönme açısı ve iki sütun indeksidir. Yükseklik değişkeni (Zc) eşleşmede, Xc ve Yc değişkenlerine göre önemsiz olduğundan, programda Zc=1 sabit

değeri kullanılmakta ve MATLAB sonuçları içinde gösterilmemektedir. Bu nedenle MATLAB sonuçlarında  $Z_c=0$  görünmektedir. MATLAB, değeri verilmeyen  $Z_c$  sütununa, otomatik olarak sıfır değerleri yerleştirmektedir. Program giriş argümanları, 'im' ile gösterilen RGB görüntü, C ile gösterilen GÖ (GPS) pozisyonu, yatay ve düşey görüş açılarının yarısı (26 ve 19 derece), WC ile gösterilen yapı sınır koordinatları ve tarama bölgesi genişliğini ifade eden parametredir. Bu testlerde bu parametre iki piksel genişliğinde alınmaktadır.

Test sonuçları içinde programın sonuçlanma süresi de hesaplanmakta ve belirtilmektedir. Sonuçlardan (Ek-1) görülebileceği gibi bu süre 2 dakika civarındadır. Bakış açısının bu süre içinde belirlenmesi, gerçekleştirilen sistemin bu hali ile gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmasını güçleştirecek gibi düşünülebilir. Fakat bazı faktörler göz önüne alındığında bu sürenin önemli ölçüde azaltılabileceği ve sistemin gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmasının mümkün olabileceği görülebilir. Bu süreyi arttıran faktörlerin başında kullanılan işlemci hızı gelmektedir. Bu testlerdeki işlemler 1.6 GHz' lik bir işlemci ile MATLAB'ta yapılmıştır. Günümüzde çok daha hızlı işlemciler üretilebilmekte ve işlemci hızları gittikçe artmaktadır. İşlemci hızının yüksek olması bu süreyi büyük ölçüde kısaltabilir. Bundan başka MATLAB, başka programlama dillerine göre nispeten daha yavaştır. Programın, MATLAB'tan daha hızlı çalışan bir programlama dilinde yazılması (dönüştürülmesi) da bu süreyi azaltılabileceği düşünülmektedir.

Aşağıda, Ek-1'de verilen MATLAB sonuçlarına dayanan değerlendirmeler yer almaktadır. Bu testlerde kullanılan bilgisayarın işlemci hızı 1.6 GHz'dir

### **Örnek 1 sonuçlarının değerlendirilmesi:**

Ek-1'deki Örnek 1 sonuçları incelendiğinde, en büyük eşleşme oranının %70'e yakın olduğu görülmektedir. Eşleşme sütun indeksleri 475 ve 253 olarak doğru şekilde elde edilmiştir. 1-80 derece arasındaki taramada, eşik değerini aşan 19 eşleşme bulunmuştur. Kamera (GÖ) bakış açısı 72 derece olarak belirlenmiştir. Doğrultunun belirlenme süresi iki dakikadan biraz fazladır.

### **Örnek 2 sonuçlarının değerlendirilmesi:**

Örnek 2 sonuçları incelendiğinde, eşleşme oranını gösteren birinci sütun elemanlarının en büyüğünün altıncı satırda bulunduğu görülmektedir. En büyük eşleşme durumunda SKH sütun indeksleri 475 ve 253 dir. GKH incelendiğinde, koordinatları kullanılan yapı sınırlarının bu sütun indekslerinde bulunduğu görülmektedir.

Örnek 2 sonuçlarında dikkat çeken başka bir durum, aynı sütun indekslerinde farklı pozisyon, farklı açı ve farklı eşleşme oranlarında eşleşme elde edilebilmesidir. Aynı sütun indekslerinin bulunduğu satırlarda farklı eşleşme oranlarının elde edilmesinin nedeni, bu satıra ilişkin SKH'daki satır indekslerinin, pozisyona (ve az da olsa dönme açısına) bağlı olarak değişmesi olarak açıklanabilir.

's' matrisinin, 6. ve 7. sütun elemanlarının 475 ve 253 olduğu satırlar incelendiğinde, hesaplanan açı değerinin 66-72 derece arasında değiştiği gözlenmektedir. Programın sonuçlanma süresi ise 2 dakika kadardır.

### **Örnek 3 sonuçlarının değerlendirilmesi:**

Pozisyon değişim aralıkları arttırıldığında, beklendiği gibi eşleşme açısı değişmekte; önceki örnekte 72 derece iken, bu örnekte 75 derece olarak elde edilmektedir. Eşleşme sütun indeksleri (475-253) doğru olarak elde edilmektedir. Eşleşme sütun indekslerinin SKH ve GKH'da örtüşmesi, eşleştirmenin doğru yapıldığı anlamına gelmektedir. Başka şekilde ifade etmek gerekirse, yanlış bir eşleştirmede SKH sütun indeksleri GKH'daki verilen koordinatlarla ilgisi olmayan bir sütunla (yapı sınırı olabilir veya olmayabilir) eşleşebilir. Bu durumda yanlış eşleşme söz konusudur. Şimdiye kadar yapılan örneklerde yanlış bir eşleşme olmamıştır.

Burada önemli olan eşleşme açısının diğer örnektekine göre ne ölçüde değişmiş olduğudur. Sonuçlardan görüldüğü gibi, ikinci ve üçüncü örnekte elde edilen açılar arasında 3 derecelik bir fark vardır. Bu fark, pozisyon hatasının fazla olmasından kaynaklanmaktadır ve bakış doğrultusunu fazla etkilemediği için önemsiz görülmektedir.

Bu sonuç bir önceki örnekle kıyaslandığında, eşleşme sayısının nispeten daha fazla, eşleşme oranının daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Programın sonuçlanma süresi bir önceki örneğe göre uzamıştır. Bu da beklenen bir sonuçtur, çünkü daha fazla iterasyon gerektirmektedir.

#### **Örnek 4 sonuçlarının değerlendirilmesi:**

Pozisyon değişme aralığı (GPS hatası) azaldığında, beklendiği gibi eşleşme sayısı azalmaktadır. En büyük eşleşme oranını sağlayan SKH sütun indeksleri doğru şekilde ve 475- 253 olarak elde edilmiştir. En büyük eşleşme oranını sağlayan açı değeri 71 derece olarak bulunmuştur ve diğer örneklerde elde edilenden çok farklı görünmemektedir. İterasyon sayısı azaldığı için programın sonuçlanma süresi de azalmış ve 80 saniyeye kadar düşmüştür.

Yapılan çalışmada uzaysal veritabanı verilerine dayanılarak bir çevre modeli oluşturulmaktadır. Bu çevre modeline sözde kenar haritası (SKH) denmektedir. Bu model kullanılarak GÖ'nün bakış açısı, yukarıda açıklandığı şekilde, farklı bir yöntem kullanılarak bulunmaktadır. Literatürde kullanılan yön veya doğrultu bulma yöntemleri ile kıyaslandığında, yapılan çalışmanın bilime bir katkı sağladığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada, veritabanı bilgisinden (üst paragraflarda açıklandığı şekilde) farklı bir şekilde faydalanılmaktadır. Literatüre göre, navigasyon sistemlerinde genellikle harita veritabanı kullanılmaktadır. Fakat bu çalışmalarda veritabanı GÖ'ye çevre bilgisi vermek için kullanılmaktadır. Bu bilgiler, GÖ herhangi bir noktada iken, GÖ'nün belirli noktalara olan uzaklığı veya hedefine olan yakınlığı gibi bilgilerdir. Bu açıdan da, çalışmanın bilime bir katkı sağladığı düşünülmektedir. GPS verisi, görsel bilgi ve veritabanı bilgisinin, GÖ'ye yol yardımı açısından birlikte kullanılmış olması da bu çalışmanın diğer bir katkısı olarak görülmektedir.

#### **Gelecekteki Çalışmalar için Öneriler:**

Gelecekte yapılması planlanan çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Doğrultu açısının bulunma süresinin kısaltılması için algoritmaların yeniden ele alınması
- Kameranın 'y' eksenine çevresindeki dönmelerinin de düzeltilmesi

- Doğrulama için yol sınırlarının da hesaba katılması ve böylece pozisyonun da doğrulanması
- SKH'da ikiden fazla yapı sınırının kullanılarak çevre modelinin geliştirilmesi.
- Görüntü dizileri arasındaki ilişkinin belirlenerek, dinamik ve statik engellerin tespit edilmesi
- Sistemin araç ve robot navigasyonuna uygulanması

Yapılan testlerde GÖ bakış açısının bulunması işlemi iki dakikalık bir süreyi alabilmektedir. Bu süre, sistemin bu haliyle gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılması için mümkün görünmemektedir. Çalışmanın bundan sonra yapılması düşünülen kısmında, bu sürenin kısaltılması planlanmaktadır. Bunun için düşünülen çözümlerden birisi, sistemi bir sayısal işaret işleyici (DSP) ile gerçekleştirmektir (algoritmanın donanım üzerinde kurulması). Fakat bundan önce programın, MATLAB'tan başka bir programa dönüştürülüp, daha hızlı işlemcili olan bir bilgisayarda test edilmesi düşünülmektedir.

Yapılması düşünülen ikinci iyileştirme, SKH elde edilmesinde yol sınırlarının da işleme katılarak, bakış açısının daha sağlıklı (doğrulanmış olarak) elde edilmesidir. Bu, çevre modelinin geliştirilmesi olarak da düşünülebilir. Yol sınırlarının çevre modeline ilave edilmesinin bir diğer ve önemli avantajı da GÖ pozisyonunun hatasız olarak elde edilmesine olanak sağlamasının beklenmesidir. Görüntü içindeki yol sınırlarının önemli bir özelliğinin, GKH içindeki genellikle en uzun ve belirgin doğru parçası olduğu düşünülmektedir. Bu belirgin yapının, hem eşleştirmenin doğrulanmasında hem de GPS pozisyonunun hatasız olarak elde edilmesinde kullanılması düşünülmektedir. Yol sınırları genellikle, GKH içinde yatay veya düşey (özel durumlarda yatay veya düşey olabilir) olmadıkları için, işlenmelerinin nispeten daha zor olduğu düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada, kameranın sadece 'z' ekseninde döndüğü varsayılmaktadır. Gerçekte kamera, GÖ'nün hareketi nedeniyle, üç ekseninde de dönebilmektedir. Yapılan çalışmada, kameranın optik eksen çevresindeki dönmeleri bölüm 2'de açıklandığı şekilde düzeltilmiştir. Kameranın optik eksen çevresindeki dönmeleri, diğer eksenler çevresindeki dönmelere göre, SKH ve GKH'ın kıyaslanması

açısından çok daha etkili görünmektedir. Yapılan çalışmada kameranın 'y' eksen çevresindeki dönmeleri üzerinde durulmamıştır. Bundan sonra yapılması planlanan çalışmalardan birisi de kameranın 'y' eksen çevresindeki dönmelerinin tespit edilerek düzeltilmesidir.

Yapılan çalışmada kullanılan görüntüler bir sonraki veya bir önceki görüntüden bağımsız düşünülmektedir. Fakat arka arkaya alınan iki görüntünün (eğer iki görüntü arasındaki zaman aralığı çok büyük değilse) tamamen bağımsız olduğu düşünülemez. Aynı sahnenin arka arkaya alınmış iki görüntüsü arasındaki benzerlik ve farklılıklar sağlıklı bir şekilde bulunabildiği takdirde sahne içindeki statik ve dinamik nesnelere ile bu nesnelere hız vektörlerinin de bulunabileceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada SKH'ın elde edilmesinde iki yapı sınırı kullanılmaktadır. Gelecekte çevre modelinin biraz daha geliştirilerek, iki yerine daha fazla yapı sınırının kullanılması ve bu şartlar altında, doğrultu bulma süresinin optimizasyonu planlanmaktadır.

GÖ için planlanmış olmasına rağmen, bu çalışmanın, gerekli değişiklikler yapılabildiği takdirde, araç ve robot navigasyonu için de kullanılabileceği düşünülmektedir. GÖ navigasyonu ile araç navigasyonu arasındaki en önemli farkın hız olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, araç navigasyonu için kullanılması düşünülen bir sistemin cevap hızının nispeten çok yüksek olması gerektiği söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- AGGARWAL, J.K. ve N.NANDHAKUMAR. 1988. On the Computation of Motion from Sequences of Images-A Review. IEEE.
- AHMED, M.J., M.SARFRAZ, A.ZIDOURI, W.G.AL-KHATIB. 2003. License Plate Recognition System. IEEE.
- ALBUS, J.S. 1990. Motion, Depth and Image Flow. IEEE
- ANAND, V.B. 1993. Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineers. John Wiley & Sons, Inc.
- ANDERSON, F.P., L.S.DAVIS, R.D.EASTMAN. 1985. Visual Algorithms for Autonomous Navigation. IEEE.
- ANONİM. 1997. Mobility of Blind and Elderly People Interacting with Computers. Information resource for people working in the field of visual disabilities, Tiresias-Scientific &Technological Reports.
- ANONİM. 1995. MoBIC: Mobility Of Blind And Elderly People Interacting With Computers. RNIB report on the MoBIC Conference
- ANONİM. 1999. Draft Summary; Wayfinding Technology Workshop. Interagency Committee on Disability Research (ICDR) Interagency Subcommittee on Technology, National Science Foundation Board Room, Arlington, Virginia.
- BARATOFF, G., C.TOEPFER, M.WENDE, H.NEUMANN. 1998. Real Time Navigation and Obstacle Avoidance from Optical Flow on a Space-Variant Map. IEEE
- BATARSEH, D.T., T.N. BURCHAM ve G.M. McFadyen. 1997. An Ultrasonic Ranging System for the Blind. IEEE.
- BERTHOLD, K.P ve B.G.SCHUNCK. 1981. Determining Optical Flow. IEEE.
- BERTOZZI, M. ve A. BROGGI. 1999. Performance Analysis of a Low Cost Solution to Vision Based Obstacle Detection. IEEE.
- BIDLACK, C., A.HAMPAPUR, A.KATKERE. 1994. Visual Robot Navigation Using Flat Earth Obstacle Projection. IEEE.
- BLENKHORN, P., VE D.G.EVANS. 1997. A System for Enabling Blind People to Identify Landmarks: The Sound Buoy. IEEE Trans., On Rehabilitation Engin.
- BOYOON, J. ve G.S.SUKHATME. 2004. Detection Moving Objects Using a Single Camera an a Mobil Robot in an Outdoor Environment. In the 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems Amsterdam,The Netherlands.
- BRANCA, A., G.CICIRELLI, E.STELLA, A.DISTANTE. 1997. Mobile Vehicle's Egomotion from Time Varying Image Sequences. IEEE.

- BUSBOOM, M., M.MAY. 1999. Mobil Navigation for the Blind. International Conference on Wearable Computing, Sendero Group, 'Making GPS and other commercial products accessible', Germany.
- CAI, X., R.X.GAO. 2000. Data Fusion for Obstacle Identification Using Ultrasonic Sensing. IEEE, Trans.
- CAPELLO, M., M.CAMPANI, A.SUCCI. 1994. Detection of Lane Boundaries, Intersections and Obstacles.
- CAPP, M., P. PICTON. 2000. The Optophone: An Electric Blind Aid. IEEE.
- CRANDALL, W., B.BENTZEN, L.MYERS, ve M.ED. 2001. Talking Signs: Infrared Communications System. Smith-Kettlewell Eye Research Institute at California Pacific Medical Center on the Use of talking Signs at Light Controlled Street Crossings: Preliminary Results, Talking Signs, Inc.
- EDWIGE, E.P. 2002. A vision System Design for Blinds Mobility Assistance. Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES Conference, Houston, USA.
- ENKELMANN, W., V.GENGENBACH, W.KRUGER ve W.TOLLE. 1994. Obstacle Detection by Real Time Optical Flow Evaluation. Intelligent Vehicles'94 symposium, Paris, Fransa.
- FANTE, R.L., J.J.VACCARO. 2002. Reduction of Multipath-Induced Bias of GPS Time-of-Arrival. The MITRE Corporation, IEEE.
- FEIDEN, D. ve R.TETZLAFF. 2002. Obstacle Detection in Planar Worlds Using Cellular Neural Networks.
- GAO, R.X., C. LI. 1997. A Dynamic Ultrasonic Ranging System as a Mobility Aid for the Blind. IEEE.
- GIACHETI, A., M. CAMPANI VE V. TORRE. 1998.The Use of Optical Flow for Road Navigation. IEEE.
- GOLLEDGE, R.G., R.L.KLATZKY, J.M.LOOMIS, J.SPEIGLE ve J.TIETZ. 1998. A Geographical Information System for A GPS Based Personal Guidance System. Geographical Information Science, vol. 12, No, 7, 727-749, USA
- GUIDICE, N. 2000. Electronic Travel Aids (ETA'S) and Related Research Projects Going on Around the World.
- HARADA, T., Y.KANEKO, Y.HIRAHARA, K.YANASHIMA, K.MAGATANI. 2004. Development of the Navigation System for Visually Impaired. IEEE.
- HASHIMOTO, H., K.MAGATANI, K.YANASHIMA. 2001. The Development of the Navigation System for Visually Impaired Persons. 23rd Annual EMBS International Conference, İstanbul, Turkey.
- HATTORI, H. 2000. Stereo for 2D Visual Navigation. IEEE.
- HEARN, D. ve M.P.BAKER. 2004. Computer Grahics with OpenGL, 3E. Prentice Hall.
- HEIKKILA, J. Pattern Matching with Affine Moment Descriptors. Elsevier



- HELAL, A., S.E.MOORE, B.RAMACHANDRAN. 2001. Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled. IEEE.
- HOYDAL, T.O., J.A. ZELANO. 1991. An Alternative Mobility Aid for the Blind the "Ultrasonic Cane". IEEE.
- ILIC, M. ve S. MASCIANGELO. Ground Plane Obstacle Detection from Optical Flow Anomalies: A Robust and Efficient Implementation.
- ISIIYAMA, H., T.OKATANI, K.DEGUCHI. 2004. High Speed and High Precision Optical Flow Detection for Real-time Motion Segmentation. SICE Annual Conference in Sapporo, Japonya.
- JACOBSON, R.D., R.M. KITCHIN, R.G. GOLLEDGE, ve M. BLADES. Describing A Complex Urban Route, with and without Sight. 1.California Univ., Santa Barbara CA 93106, USA; 2.National University of Ireland, Ireland; 3. University of Sheffield, Sheffield, S10 8TP, UK.
- JIRAWIMUT, R. ve S.PRAKOONWIT. 2003. Visual Odometer for Pedestrian Navigation. IEEE.
- KALUVAHANDI, S. ve Y.TADOKORO. 2001. Portable Traveling Support System Using Image Processing for the Visually Impaired. IEEE.
- KATO, S., K.TOMITA ve S.TSUGAWA. 1996. Visual Navigation along Reference Lines and Collision Avoidance for Autonomous Vehicles. IEEE.
- KOSHI, K., H.KANI, ve Y.TADOKORO. 1992. Orientation Aids for the Blind Using Ultrasonic Signpost System. IEEE.
- KOTANI, S., K.KANEKO, T.SHINODA ve H.MORI. 1998. Mobil Robot Navigation Based on Vision and DGPS Information. IEEE.
- KREYSZIG, E. 1999. Advanced Engineering Mathematics. John Wiley & Sons.
- KRUGER, W., W.ENKELMANN ve S.ROSSLE. Real-Time Estimation and Tracking of Optical Flow Vectors for Obstacle Detection.
- KUC, R. 2002. Binaural Sonar Electronic Travel Aid Provides Vibrotactile Cues for Landmark, Reflector Motion and Surface Texture Classification. IEEE.
- LARUSSO, A. VE E.D. MICHELI. 1996. An Approach to Obstacle and Steering Control from Optical Flow. IEEE.
- LÖFVING, S. 2003. Extending the Cane Range Using Laser Technique. Optical Sensors, Gothenberg, Sweden.
- LONG, R.G., ve S. FAZENBAKER. 1992. Development of An Orientation Aid for Blind Individuals. IEEE.
- LOOMIS, J.M., R.G.GOLLEDGE, R.L.KLATZKY. 1998. Navigation System for the Blind: Auditory Display Modes and Guidance. Presence. Vol. 7, No 2, 193-203.
- LOOMIS, J.M., R.G.GOLLEDGE. 2001. GPS Based Navigation Systems for the Visually Impaired. University of California Santa Barbara and Roberta L. Klatzky Carnegie Mellon University. p 429-446, In W. Barfield& T. Caudell (Eds.), Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- MAGATANI, K., K.SAWA, K.YANASHIMA. 2001. Development of the Navigation System for the Visually Impaired by Using Optical Beacons. IEEE.
- MAJA, J.M., T.TAKASHI, Z.D.WANG, E.NAKANO. 2000. Real Time Obstacle Avoidance Algorithm for Visual Navigation. IEEE.
- MAKELA, H. ve K.KOSKINEN. 1991. Navigation of Outdoor Mobile Robots Using Dead Reckoning and Visually Detected Landmarks. IEEE.
- MAKINO, H., I.ISHII, M.NAKASHIZUKA. 1996. Development of Navigation System for the Blind Using GPS and Mobile Phone Combination. IEEE.
- MATSUMOTO, Y., M.INABA ve H.INOUE. 1996. Visual Navigation Using View-Sequenced Route Representation. IEEE.
- MATSUMOTO, YOSHIO., K.SAKAI, M.INABA ve H.INOUE. 2000. View Based Approach to Robot Navigation. IEEE.
- MESTER, R. ve M.HOTTER. 1995. Robust Displacement Vector Estimation Including a Statistical Error Analysis. IEEE.
- NAGARAJAN, R., G.SAINARAYANAN, S.YACOOB. 2004. An Improved Object Identification for Navi. IEEE.
- OKADA, R., Y.TANIGUCHI, K.FURUKAWA, K.ONOGUCHI. 2003. Obstacle Detection Using Projective Invariant and Vanishing Lines. IEEE.
- PETRIE, H., J.VALERIE, T.STROTHOTTE, A.RAAB, ve R.MICHEL. 1996. The British Journal of Visual Impairment, MoBIC: An Aid to Increase the Independent Mobility of Blind Travelers. Volume 15:2 Abstracts.
- QIN, L. ve W.GAO. 2005. Image Matching Based on a Local Invariant Descriptor. IEEE.
- RAFAEL, G., R.E.WOODS. 2002. Digital Image Processing,2E. Prentice Hall.
- RAM, S., J. SHARF. 1998. The people Sensor: A mobility Aid for the Visually Impaired. IEEE.
- RAN, L., S.HELAL, S.MOORE. 2004. Drishti: An Integrated Indoor/Outdoor Blind Navigation System and Service. IEEE.
- SHAFAIT, F., M.GRIMM, R.R.GRIGAT. 2004. Low Complexity Camera Egomotion Estimation Algorithm for Real Time Applications. IEEE.
- SHAPIRO, L.G., G.C.STOCKMAN. 2001. Computer Vision. Prentice Hall.
- SHINODA, Y., Y.YAKABE, K.MAGATANI, K.YANASHIMA, R.SATO. 1996. Development of Navigation System for the Visually Impaired. IEEE.
- SHOVAL, S., I.ULRICH, J.BORENSTEIN. 2003. Navbelt and the Guide Cane. IEEE.
- SILVA, C. ve J.S.VICTOR. 1996. Direct Egomotion Estimation. IEEE.
- SONG, K-T. ve J.-H.HUANG. 2001. Fast Optical Flow Estimation and Its Application to Real-time Obstacle Avoidance .IEEE.
- SONKA, M., V. HLAVAC, R.BOYLE. 1993. Image Processing Analysis and Machine Vision. Chapman & Hall Computing.

SOTELO, M.A., S.ALCALDE, J.REVIEJO. 2001. Vehicle Fuzzy Driving Based on DGPS and Vision. IEEE.

TAO, X., M.GUO, B.ZHANG. 1997. A Neural Network Approach to the Elimination of Road Shadow for Outdoor Mobile Robot. IEEE.

THE SENDERO GROUP. 2001. What is GPS- Talk.

THORPE, C., L.MATTHIES ve H.MORAVEC. 1985. Experiments and Thoughts on Visual Navigation. IEEE.

TRAHANIAS, P.E., S.VELISSARIS ve T.GARAVELOS. 1997. Visual Landmark Extraction and Recognition for Autonomous Robot Navigation. IEEE.

ULRICH, I., ve J.BORENSTEIN. 2001. The Guide Cane-Applying Mobile Robot Technologies to Assist the Visually Impaired. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.

VEGA-REVEROS, J.F. ve K.JABOUR. 1989. Review of Motion Analysis Techniques. IEEE.

VIRKES, D., K.NENADIC ve D.Z. VIRKES. 2004. Positioning Systems for Mobility of Blind, Overview and Analysis. 46<sup>th</sup>.International Symposium Electronic in Marine, ELMAR.

WONG, F., R.NAGARAJAN, S.YAACOB. 2003. Application of Stereovision in a Navigation Aid for Blind People. IEEE.

YAMASAKI, H., H.HASHIMOTO, K.MAGATANI, K.YANASHIMA. 2000. Development of the Navigation System for the Visually Impaired. IEEE.

YOUNG, G-S., T-H.HONG, M. HERMAN VE J.C.S. YANG. 1992. Obstacle Detection for a Vehicle Using Optical Flow.

YU, C-H. ve F.M.CAIMI. 1993. Determination of Horizontal Motion through Optical Flow Computations. IEEE.

ZHAO, Y. 1997. Vehicle Location and Navigation Systems. Artech House, Inc., Boston, London.

<http://homepages.inf.ed.ac.uk/cgi/rbf/CVONLINE/entries.pl?TAG518>

<http://www.cs.bilkent.edu.tr/~duygulu/Courses/CS554/Spring2006/Notes/InterestPoints>.

<http://www.cs.ubc.ca/spider/jhoey/review/node2.html>

<http://www.kwon3d.com/theory/calib.html>

<http://www.talkingsigns.com/>

[www.umiacs.umd.edu/~ramani/cmsc828d/lecture9.pdf](http://www.umiacs.umd.edu/~ramani/cmsc828d/lecture9.pdf)

<http://www.wayfinding.net/>

## Ek-1 DOĞRULTU BULMA PROGRAMI MATLAB TEST SONUÇLARI

Aşağıda Matlab test sonuçlarından bazıları sunulmaktadır. Bu sonuçlarda geçen C, kamera pozisyonunu, WC yol ve yapı sınır koordinatlarını içermektedir. WC'in ilk dört koordinatı yol sınır doğrularını belirlemektedir. WC'nin diğer iki koordinatı ise, yapı sınırlarına aittir. Bu testlerde kullanılan WC, keyfi seçilen bir koordinat sistemine göre ölçülmüş yol ve yapı sınır koordinatlarını içermektedir. Bu amaçla kullanılan görüntü şekil 2.41'de verilmiştir.

Her bir YSK için bir koordinat kullanılmaktadır. Bu koordinat yapı sınırının üst nokta koordinatı olmaktadır. YSK'nın alt sınır koordinatının yer seviyesinde olduğu kabul edilmekte ve bu koordinat değeri programda ayrıca elde edilmektedir. Bu testlerde ifade edilen Xc ve Yc pozisyon değişkeni, theta ise açı değişkenidir. Doğrultu bulma programı girdisi 'im' ile gösterilmiş olan sahnenin renkli (RGB) kamera görüntüsü, 'C' kamera (GPS) koordinatı, 'WC', yapı ve yol sınır koordinatlarıdır. 'WC' vektörü çok sayıda koordinat değeri içerebilir. Algoritma bu koordinatlardan ilk dört tanesini yol sınır koordinatı olarak, diğer koordinat değerlerini ise YSK olarak değerlendirmektedir. Algoritma, 2.ci bölümde açıklandığı şekilde, YSK seçim kriterlerini kullanarak, her dönme açısı için bu koordinatlar arasından ikisini kullanarak bir SKH oluşturmaktadır. Fonksiyon parametrelerinden 26 ve 19 değerleri, sırası ile kameranın yatay görüş açısının yarısı ve dikey görüş açısının yarısıdır. Fonksiyon parametrelerinden olan '2' değeri ise, eşleşme arama algoritmasına ilişkin olan tarama genişliği parametresidir.

### Örnek 1:

Giriş değerleri;

C=[0 0 1];

WC=[0 0 0;0 30 0;7 0 0;7 30 0;31.6 33 12;13.6 33 12];

Yc=Yc1-4:0.5:Yc1+4

Xc=Xcc1:0.5:Xcc2

theta=1:80

Çıkış değerleri;

```
>> [s]=yapieslesct85(im,C,26,19,WC,2)
```

Warning: Divide by zero.

```
> In yapieslesct85 at 116
```

eşleşme sayısı

t10 =

19

max eşleşme oranı

maxrm =

0.6933

max eşleşme durumunda Xc

ans =

2.5000

max eşleşme durumunda Yc

ans =

-2.5000

max eşleşme durumunda theta

ans =

72

derecedir

max eşleşme durumunda 1. sütun indeksi

ans =

475

max eşleşme durumunda 2. sütun indeksi

ans =

253

Elapsed time is 130.718000 seconds.

s =

0.6054	0	-4.0000	0	69.0000	455.0000	253.0000
0.6000	6.5000	-4.0000	0	55.0000	253.0000	15.0000
0.6261	7.0000	-3.0000	0	55.0000	253.0000	9.0000
0.6353	7.0000	-3.0000	0	55.0000	253.0000	11.0000
0.6901	2.5000	-2.5000	0	72.0000	474.0000	253.0000
0.6933	2.5000	-2.5000	0	72.0000	475.0000	253.0000
0.6054	6.5000	-2.5000	0	54.0000	253.0000	8.0000
0.6205	6.5000	-2.5000	0	54.0000	253.0000	9.0000
0.6857	2.0000	-2.0000	0	71.0000	474.0000	253.0000
0.6018	6.0000	-2.0000	0	53.0000	253.0000	8.0000
0.6168	6.0000	-2.0000	0	53.0000	253.0000	9.0000

0.6113	5.5000	-1.5000	0	52.0000	253.0000	9.0000
0.6698	2.5000	-1.0000	0	71.0000	475.0000	253.0000
0.6646	2.0000	-0.5000	0	70.0000	474.0000	253.0000
0.6677	2.0000	-0.5000	0	70.0000	475.0000	253.0000
0.6606	1.5000	0	0	69.0000	474.0000	253.0000
0.6636	1.5000	0	0	69.0000	475.0000	253.0000
0.6585	1.0000	0.5000	0	68.0000	474.0000	253.0000
0.6382	0.5000	2.5000	0	66.0000	475.0000	253.0000

### Örnek 2:

Giriş değerleri;

$$Yc=Yc1-4:0.5:Yc1$$

$$Xc=Xcc1:0.5:Xcc2$$

theta=1:100 ; Açı aralığı (değiştirildi)

Matlab Sonuçları:

eşleşme sayısı

t10 =

19

max eşleşme oranı

maxrm =

0.6933

max eşleşme durumunda Xc

ans =

2.5000

max eşleşme durumunda Yc

ans =

-2.5000

max eşleşme durumunda theta

ans =

72

derecedir

max eşleşme durumunda 1. sütun indeksi

ans =

475

max eşleşme durumunda 2. sütun indeksi

ans =

253

Elapsed time is 129.026000 seconds.

s =

0.6054	0	-4.0000	0	69.0000	253.0000	455.0000
0.6000	6.5000	-4.0000	0	55.0000	15.0000	253.0000
0.6261	7.0000	-3.0000	0	55.0000	9.0000	253.0000
0.6353	7.0000	-3.0000	0	55.0000	11.0000	253.0000
0.6901	2.5000	-2.5000	0	72.0000	253.0000	474.0000
0.6933	2.5000	-2.5000	0	72.0000	253.0000	475.0000
0.6054	6.5000	-2.5000	0	54.0000	8.0000	253.0000
0.6205	6.5000	-2.5000	0	54.0000	9.0000	253.0000
0.6857	2.0000	-2.0000	0	71.0000	253.0000	474.0000
0.6018	6.0000	-2.0000	0	53.0000	8.0000	253.0000
0.6168	6.0000	-2.0000	0	53.0000	9.0000	253.0000
0.6113	5.5000	-1.5000	0	52.0000	9.0000	253.0000
0.6698	2.5000	-1.0000	0	71.0000	253.0000	475.0000
0.6646	2.0000	-0.5000	0	70.0000	253.0000	474.0000
0.6677	2.0000	-0.5000	0	70.0000	253.0000	475.0000
0.6606	1.5000	0	0	69.0000	253.0000	474.0000
0.6636	1.5000	0	0	69.0000	253.0000	475.0000
0.6585	1.0000	0.5000	0	68.0000	253.0000	474.0000
0.6382	0.5000	2.5000	0	66.0000	253.0000	475.0000

>>

### Örnek 3:

Bu örnekte Xc ve/veya Yc değişkenlerinin değişim aralığı değiştirilip sonuçlar gözlenmektedir.

Girişler:

$$Yc=Yc1-6:0.5:Yc1+6$$

$$Xc=Xcc1:0.5:Xcc2$$

$$\text{theta}=1:100$$

Matlab sonuçları:

```
>> [s]=yapieslesct85(im,C,26,19,WC,2)
```

Warning: Divide by zero.

```
> In yapieslesct85 at 116
```

eşleşme sayısı

```
t10 =
```

```
43
```

max eşleşme oranı

```
maxrm =
```

```
0.7138
```

max eşleşme durumunda Xc

```
ans =
```

```
4
```

max eşleşme durumunda Yc

```
ans =
```

```
-4.5000
```

max eşleşme durumunda theta

```
ans =
```

```
75.0000
```

derecedir

max eşleşme durumunda 1. sütun indeksi

```
ans =
```

```
475
```

max eşleşme durumunda 2. sütun indeksi

```
ans =
```

```
253
```

Elapsed time is 172.858000 seconds.

```
s =
```



0.6170	0	-6.0000	0	70.0000	448.0000	253.0000
0.6241	0	-6.0000	0	70.0000	449.0000	253.0000
0.6099	0	-6.0000	0	70.0000	450.0000	253.0000
0.6021	1.0000	-6.0000	0	51.0000	253.0000	49.0000
0.6055	1.0000	-6.0000	0	51.0000	253.0000	50.0000
0.6224	1.5000	-6.0000	0	72.0000	455.0000	253.0000
0.6014	1.5000	-6.0000	0	72.0000	456.0000	253.0000
0.6154	1.5000	-6.0000	0	72.0000	457.0000	253.0000
0.6117	3.0000	-6.0000	0	74.0000	461.0000	253.0000
0.6048	3.0000	-6.0000	0	74.0000	462.0000	253.0000
0.6082	3.0000	-6.0000	0	74.0000	463.0000	253.0000
0.6021	1.0000	-5.5000	0	64.0000	380.0000	186.0000
0.6063	1.0000	-5.5000	0	71.0000	453.0000	253.0000
0.6098	1.0000	-5.5000	0	71.0000	454.0000	253.0000
0.6202	1.0000	-5.5000	0	71.0000	455.0000	253.0000
0.6096	2.5000	-5.5000	0	73.0000	461.0000	253.0000
0.6020	6.0000	-5.5000	0	78.0000	476.0000	253.0000
0.6048	1.0000	-5.0000	0	71.0000	457.0000	253.0000
0.6082	1.0000	-5.0000	0	71.0000	458.0000	253.0000
0.6075	0.5000	-4.5000	0	70.0000	455.0000	253.0000
0.6007	0.5000	-4.5000	0	70.0000	457.0000	253.0000
0.7105	4.0000	-4.5000	0	75.0000	474.0000	253.0000
0.7138	4.0000	-4.5000	0	75.0000	475.0000	253.0000
0.6183	7.0000	-4.5000	0	56.0000	253.0000	18.0000
0.6054	0	-4.0000	0	69.0000	455.0000	253.0000
0.6000	6.5000	-4.0000	0	55.0000	253.0000	15.0000
0.6261	7.0000	-3.0000	0	55.0000	253.0000	9.0000
0.6353	7.0000	-3.0000	0	55.0000	253.0000	11.0000
0.6901	2.5000	-2.5000	0	72.0000	474.0000	253.0000
0.6933	2.5000	-2.5000	0	72.0000	475.0000	253.0000
0.6054	6.5000	-2.5000	0	54.0000	253.0000	8.0000
0.6205	6.5000	-2.5000	0	54.0000	253.0000	9.0000
0.6857	2.0000	-2.0000	0	71.0000	474.0000	253.0000
0.6018	6.0000	-2.0000	0	53.0000	253.0000	8.0000

0.6168	6.0000	-2.0000	0	53.0000	253.0000	9.0000
0.6113	5.5000	-1.5000	0	52.0000	253.0000	9.0000
0.6698	2.5000	-1.0000	0	71.0000	475.0000	253.0000
0.6646	2.0000	-0.5000	0	70.0000	474.0000	253.0000
0.6677	2.0000	-0.5000	0	70.0000	475.0000	253.0000
0.6606	1.5000	0	0	69.0000	474.0000	253.0000
0.6636	1.5000	0	0	69.0000	475.0000	253.0000
0.6585	1.0000	0.5000	0	68.0000	474.0000	253.0000
0.6382	0.5000	2.5000	0	66.0000	475.0000	253.0000

&gt;&gt;

**Örnek 4:**

Bu örnekte Yc değişim aralığı azaltılmaktadır.

Girişler:

$Yc=Yc1-2:0.5:Yc1$

$Xc=Xcc1:0.5:Xcc2$

theta=1:100

Matlab Sonuçları:

```
>> [s]=yapieslesct85(im,C,26,19,WC,2)
```

Warning: Divide by zero.

```
> In yapieslesct85 at 116
```

eşleşme sayısı

t10 =

10

max eşleşme oranı

maxrm =

0.6857

max eşleşme durumunda Xc

ans =

2

max eşleşme durumunda Yc

ans =

-2

max eşleşme durumunda theta

ans =

71

derecedir

max eşleşme durumunda 1. sütun indeksi

ans =

474

max eşleşme durumunda 2. sütun indeksi

ans =

253

Elapsed time is 79.444000 seconds.

s =

0.6857	2.0000	-2.0000	0	71.0000	474.0000	253.0000
0.6018	6.0000	-2.0000	0	53.0000	253.0000	8.0000
0.6168	6.0000	-2.0000	0	53.0000	253.0000	9.0000
0.6113	5.5000	-1.5000	0	52.0000	253.0000	9.0000
0.6698	2.5000	-1.0000	0	71.0000	475.0000	253.0000
0.6646	2.0000	-0.5000	0	70.0000	474.0000	253.0000
0.6677	2.0000	-0.5000	0	70.0000	475.0000	253.0000
0.6606	1.5000	0	0	69.0000	474.0000	253.0000
0.6636	1.5000	0	0	69.0000	475.0000	253.0000
0.6585	1.0000	0.5000	0	68.0000	474.0000	253.0000

>>

## Ek-2 GPS

**GPS:** GPS uydu tabanlı bir navigasyon sistemidir. Yer, hız ve zaman belirlemede kullanılır. GPS, ABD savunma bakanlığı tarafından finanse edildi ve gerçekleştirildi (DOD). Önceleri yalnız askeri amaçlı kullanıldı. Daha sonra yapılan bir anlaşma ile sivil amaçlar için de kullanılmaya başlandı. GPS 3 ana kısımdan oluşmaktadır:

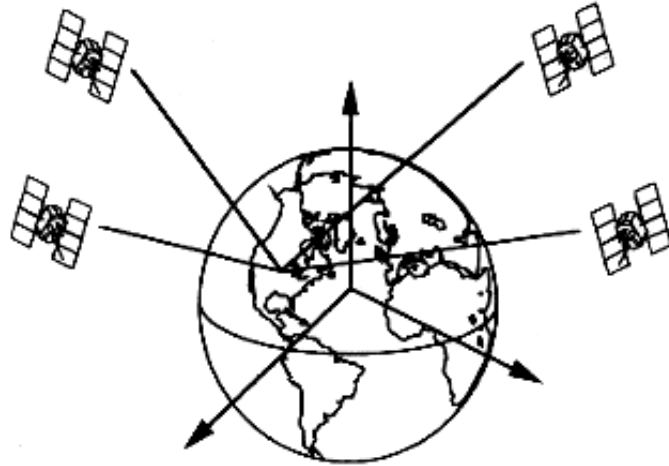
- -Uydu grubu
- -Alıcı (kullanıcı)
- -Kontrol parçası (yönetim ve kontrol)

**GPS uydu grubu:** Eşit aralıklarla dizilmiş 6 GPS yörüngesi ve bu yörüngelerin her birinde gene düzgün sıralanmış 4'er tane GPS uydusundan oluşur(toplam 24 uydu). Böyle bir düzenleme ile dünya üzerindeki herhangi bir nokta günün 24 saati gözlenebilir. Hataların en aza indirilmesi için her uyduda 4 atomik saat vardır. GPS karakteristikleri Tablo 2.1'de görülmektedir. Bu tablodaki bazı kısaltmaları:

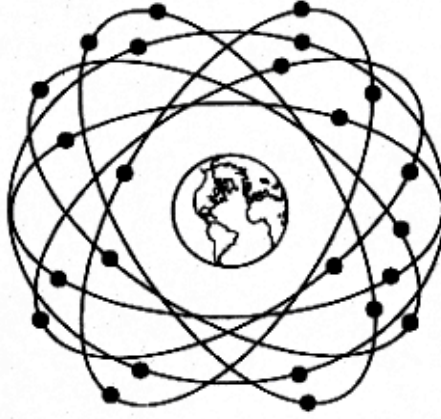
SPS: Standart positioning service

PPS: Precise positioning service

2dRMS: 2 kat karekök uzaklık hatası 100m 2dRMS yatay pozisyon zamanlarının %95'i 100m yarıçaplı bir daire içinde olur anlamındadır.



Şekil 1 GPS için ECEF dik koordinat sistemi



Şekil 2 Uydu takımı (uzay bölümü)

Tablo 2.1 GPS karakteristikleri

<i>Item</i>	<i>Characteristic</i>
Satellites	24 satellites broadcast signals autonomously
Orbits	Six planes, at 55-degree inclination, each orbital plane includes four satellites at 20,231-km altitude, with a 12-hr period
Carrier frequencies	L1: 1575.42 MHz; L2: 1227.60 MHz
Digital signals	C/A code (coarse acquisition code): 1.023 MHz P code (precise code): 10.23 MHz Navigation message: 50 bps
Position accuracy	SPS: 100m horizontal (2dRMS) and 140m vertical (95%) PPS: 21m horizontal (2dRMS) and 29m vertical (95%)
Velocity accuracy	SPS: 0.5–2 m/s observed PPS: 0.2 m/s
Time accuracy	SPS: 340 ns (95%) PPS: 200 ns (95%)

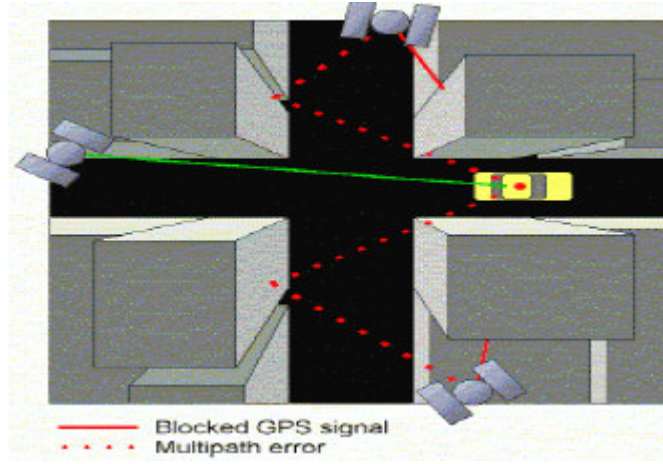
GPS kontrol bölümü aşağıdaki kısımlardan oluşur;

- Bir ana kontrol istasyonu,
- 5 tane insansız görüntüleme istasyonu (İĞİ),
- Ekvatora eşit uzaklıkta olan 3 tane yer anteninden oluşmaktadır.

İĞİ ler GPS uydularından sürekli olarak işaret alır ve bu işaretleri Ana kontrol istasyonuna gönderir. Kontrol istasyonu uyduların hangi anda nerede olduğunu bu işaretleri kullanarak bulur ve eğer bir hata varsa düzeltilmiş konum ve zaman değerlerini yer antenleri vasıtası ile uydulara gönderir.

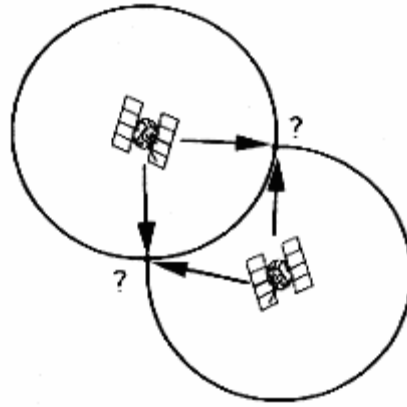


Şekil 4 GPS hata kaynaklarından iki tanesini göstermektedir. Bunlar GPS sinyallerinin bloke olması (sürekli çizgi) ve çok yollu yansıma hataları (kesikli çizgi)



Şekil 4 GPS hata kaynaklarından ikisi.

**GPS ölçme sistemi:** Yeryüzünde bulunan(veya yeryüzüne yakın) bir GPS alıcısı uydulardan gelen sinyalleri kullanarak uydularla arasındaki uzaklığı hesaplar. GPS alıcısının 3 tane uydudan sinyal aldığını varsayalım ve alıcının koordinatlarının  $(x,y,z)$  olduğu varsayalım amaç  $(x,y,z)$  nin belirlenmesidir. 3D Uzayda 2 nokta arasındaki uzaklıktan faydalanarak aşağıdaki bağıntılar yazılabilir;

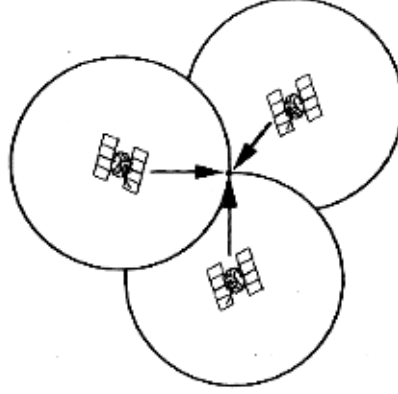


$$p1 = \sqrt{(x - x1)^2 + (y - y1)^2 + (z - z1)^2}$$

$$p2 = \sqrt{(x - x2)^2 + (y - y2)^2 + (z - z2)^2}$$

$$p3 = \sqrt{(x - x3)^2 + (y - y3)^2 + (z - z3)^2}$$

Şekil 5 iki uydu sinyali ile elde edilen pozisyon değerleri



Şekil 6 Üç uydu sinyali kullanıldığında bulunan pozisyon

GPS alıcısı uydudan gelen kodu çözerek sonuçta alıcı, konum, hız ve zamanı sinyallerden belirlemiş olur. Sinyal tek yönlüdür yani sadece uydudan alıcıya doğrudur; alıcı herhangi bir yayın yapmaz bunun için pasif bir sistemdir. Pozisyon ölçümü sinyalin, uydudan alıcıya ulaşma zamanı hesaplanarak bulunur. (**TOA- Time Of Arrival**) Bir alıcı belli bir yerde, birçok uydudan yayınlanan işaretleri alır ve bunları pozisyon belirlemede kullanır.

Alıcı-verici arasındaki saat kaymaları (time offset), yayılma gecikmeleri ve diğer hatalar nedeniyle hatasız ölçüm imkansızdır. Alıcının konumunu belirlemek için bu uyduların konumları ve 'pseudorange' (sahte uzaklık) bilmek gerekir. *Pseudorange*'ler, alınan sinyalin yayılma zamanı ile hesaplanır. Alıcı, vericiden gelen uydu kodunun bir kopyasını kendi içinde üretir alınan kod ile üretilen bu kopya kod uyumu(match) için gerekli ofset (kayma) zamanını ölçerek sinyalin yayılma zamanı belirlenir. Buna 'correlation-ilişki' denir.

3D durumda konum hesaplamak için en az 3 uydudan gelen sinyalleri kullanmak gerekir ama çoğu halde 4.cü bir uydu da kullanılır.

$$p1 = \sqrt{(x - x1)^2 + (y - y1)^2 + (z - z1)^2} + c(dt - dT1)$$

$$p2 = \sqrt{(x - x2)^2 + (y - y2)^2 + (z - z2)^2} + c(dt - dT2)$$

$$p3 = \sqrt{(x - x3)^2 + (y - y3)^2 + (z - z3)^2} + c(dt - dT3)$$

$$p4 = \sqrt{(x - x4)^2 + (y - y4)^2 + (z - z4)^2} + c(dt - dT4)$$



Burada P1, P2, P3, P4 ölçülen pseudorange'lerdir.  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $(x_2, y_2, z_2)$ ,  $(x_3, y_3, z_3)$ ,  $(x_4, y_4, z_4)$  uyduların o andaki koordinatlarıdır (sinyalin gönderilme anındaki) ve bilinmektedir. Sinyal zamanını ölçmek için kullanılan alıcı saati GPS zamanına senkronize edilmemiştir. Bu olsaydı zaman ölçümü çok kolay olurdu. Fakat alıcıya atomik saat yerleştirmek hiç ekonomik değildir. Bunun yerine alıcıda kristal osilatörler kullanılır. Bundan dolayı GPS ve uydu arasındaki saat farkı belirlenmelidir. Bu parametre 4. cü bir uydu kullanılarak hesaplanabilir.

Yukarıdaki 4 eşitlik 4 uyduyu aynı anda gören bir alıcı ile uydular arasındaki uzaklığı ve saat farkını gösterir. Burada:

$C$ : ışık hızı,

$dT_1; dT_2; dT_3; dT_4$ : bilinen uydu saati bias terimleri,

$dt$ : alıcı saat farkını (bilinmeyen),

ifade etmektedir.

$dT_1, \dots, dT_4$  terimleri yayınlanan navigasyon işareti kullanılarak alıcı tarafından hesaplanabilir. Yukarıdaki eşitlikte bazı hata terimleri ihmal edilebilir örneğin iyonosferik ve topografik gecikmelerin her ikisi de modellenilebilir ve kestirilebilir. Buna karşılık alıcı gürültüsü, çok yollu yayılma hatası, uydu yörünge hatası ve 'SA' etkileri kalır. Kareköklü terimler alıcı ve uydu arasındaki geometrik uzaklığı temsil eder. Diğer bütün terimler hatalı ölçüme neden olurlar.

Bu eşitlik Newton-Raphson yöntemi ile çözülebilir. Eğer 4'den fazla uydu kullanılırsa 'En küçük kareler algoritması' veya çok katlı durumda 'Kalman Filtresi algoritması' kullanılabilir. Bulunan 3D koordinatlar bir ECEF kartezyen koordinat çerçevesinde veya WGS84 gibi bir geodetic koordinat sisteminde hesaplanabilir. Koordinatlar arasındaki dönüşüm bağıntıları kullanıldığında konum bilgileri diğer geodetic çerçevelere (sistemlere) çevrilebilir veya harita düzleminde ifade edilebilir.

**GPS Yayınları (sinyalleri):** GPS uyduları L1 ve L2 adı verilen 2 ayrı frekansta işaret yayar. Taşıyıcı frekansları  $L1 = 1575.42$  MHz ve  $L2 = 1227.60$  MHz dir. Bu taşıyıcılar uyduların özel kodlarını taşırlar. Her uydunu kendine ait bir kodu vardır Alıcılar uyduları bu kodlar vasıtası ile tanırlar. Bu kodlar gürültüye benzediğinden 'Pseudo Random Noise' - PRN adı verilmiştir. PRN kodu C/A ve P kodu olarak bilinen iki ayrı kod içerir. C/A kodu 1023 bitlik bir koddur ve sn.' de 1000 kez üretilir ve hassas olmayan uygulamalar için kullanılır. P kodu ise periyodu 267 gün olan ve askeri amaçlar için kullanılan bir koddur ve çok hassas ölçümler için kullanılır. Bu kod güvenlik açısından her hafta değiştirilir

GPS uyduları aynı zamanda kullanıcı hassasiyeti olarak bilinen (User Range Accuracy-URA) bir parametre de yayınlar (navigasyon işaretinin bir parçası olarak). Bu işaret 'SA'nın durumunu gösteren bir işaret olarak kullanılabilir.

**DGPS tekniği:** Bu Teknik GPS performansını önemli ölçüde artırır. Yani hata payını azaltır. Bu teknikte 2 GPS alıcısı kullanılır; bunlardan birisi 'Master'(baz)

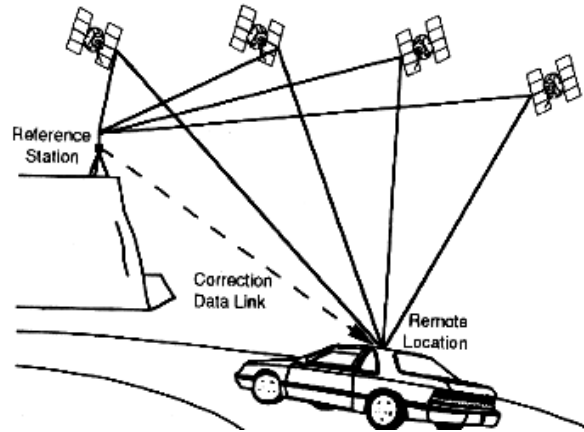
alıcıdır. Bunun yeri sabittir ve koordinatları tam olarak bilinir. Diğeri ise koordinatları belirlenecek olan bir GPS alıcısıdır(korsan alıcı). Baz alıcının koordinatları kendi hafızasında yüklüdür. Uydulardan gelen konum verilerini toplar ve hafızasındaki hatasız konum bilgileri ile kıyaslar ve bu şekilde hatayı tespit eder. Buna dayanarak bir hata vektörü oluşturur bu hata vektörü aslında düzeltim vektörüdür bu bilgi(diferansiyel düzeltme) korsan alıcıya gönderilir korsan alıcı da kendi bulunduğu noktadaki hatalı konum bilgilerini saptar ve baz alıcıdan gelen 'diferansiyel düzeltim' bilgisini ekleyerek, doğru olarak kendi konumunu tespit eder.

Baz alıcı ve korsan alıcı ( uzak alıcı) arasındaki mesafe sınırlı olmak zorundadır. Çünkü her iki alıcının da aynı uyduları görmesi gereklidir. *İki alıcıda da aynı hataların gözlenmesi için iki alıcının da aynı anda aynı uyduları kullanması gerekir ki ortak hata terimleri elimine edilebilsin.* Çünkü hata, zamana ve yere göre çok değişmektedir.

DGPS'de düşük gürültülü alıcılar kullanıldığı zaman alıcılar arasındaki uzaklık 50 km gibi iken 5m seviyelerindeki bir doğruluk genellikle elde edilebilir. DGPS'in GPS 'den çok daha iyi olduğu görülebilir.

Tablo 2.3 DGPS karakteristikleri

<i>Item</i>	<i>Real-Time Characteristic</i>
Receiver separation	<50 km
Data link update rate	5-10 sec
Position accuracy	15m (2-5m for low-noise receivers)
Velocity accuracy	0.1 m/s
Time accuracy	100 ns



Şekil 7 DGPS konum belirleme yöntemi

## **ÖZGEÇMİŞ**

1988'de Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği. bölümünü bitirdi. 1990 da askerliğini tamamladı. 1990-1994 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 1994 yılında Boğazlıyan (Yozgat) Endüstri Meslek lisesi'nde elektronik öğretmeni olarak çalışmaya başladı. 1995 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek lisans eğitime başladı; aynı zamanda Bursa Ali Osman Sönmez Endüstri Meslek Lisesi'ne atandı. 1999 yılında Yüksek lisansını tamamladı. 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri'nde Doktora öğrenimine başladı. Şu anda Balıkesir Üniversitesi MYO Endüstriyel Elektronik Programı'nda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

## **TEŞEKKÜR**

Doktora çalıőmamda benden yardımlarını esirgemeyen Hocam ve danıőmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Halil YEŞİLÇİMEN'e, Sn. hocam Yrd. Doç. Dr. H. Osman KOÇAL'a ve doktora çalıőmam boyunca bana destek olan ve sabırla tahammül eden aileme teőekkürü bir borç bilirim.