

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

ROBOT UYGULAMALARI İÇİN 3B'LU CİSİMLERİN TANINMASI

VE KONUMLANDIRILMASI

Elektronik Müh. Murat EKİNCİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"Elektronik Yüksek Mühendisi"  
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07.06.1993

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 28.06.1993

Tezin Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Rifat YAZICI

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mümtaz YILMAZ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sefa AKPINAR

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Temel SAVASKAN

HAZİRAN -

TRABZON

## Ö N S Ö Z

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı, Elektronik Anabilimdalı Yüksek Lisans Programında yapılan bir çalışmadır. Bu çalışma robotik sistemlere görme, tanıma, ve konumlandırma özelliklerini kazandırmak için yapılmıştır.

Bu konudaki çalışmamda bana yardımlarını esirgemeyen yöneticim sayın Yrd. Doç. Dr. Rifat YAZICI' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 1993

Murat EKİNCİ

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
BÖLÜM-1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM-2. TEMEL ROBOT TEKNOLOJİSİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER..	3
2.1. Giriş .....	3
2.2. Robot Nedir .....	3
2.2.1. Tanımlar .....	3
2.2.2. Tarihçesi .....	4
2.2.3. Robotik Sistemdeki Temel Elemanlar .....	5
2.2.3.1. Mekaniksel Elemanlar .....	5
2.2.3.2. Kontrol Sistemi .....	5
2.2.3.3. Bilgisayar Sistemi .....	6
2.2.4. Robotlar Niçin Kullanılır .....	6
2.2.4.1. Robotlarla İnsanların Karşılaştırılması ...	6
2.2.4.2. Robotlarla Otomasyonun Karşılaştırılması ...	7
2.3. Robot Türleri .....	7
2.3.1. Mekaniksel Konfigürasyonlar .....	8
2.3.1.1. Dikdörtgen Koordinat Sistemi .....	8
2.3.1.2. Silindiriksel Koordinat Sistemi .....	8
2.3.1.3. Küresel Koordinat Sistemi .....	8
2.3.1.4. Geri ve Aşağı Kıvrılmış Koordinat Sistemi .	9
BÖLÜM-3. ROBOTİK SİSTEMLERDE GÖRME .....	10
3.1. Giriş .....	10
3.2. Robotlarda Akıllılık .....	10
3.3. Robotik Görme .....	12
3.3.1. Robotların Görme Gereksinimleri .....	12
3.3.2. Bir Robotun Görme Sistemi .....	12
3.4. Robot Görme Sistem Türleri .....	14
3.4.1. Boyutsal Açısından Sınıflandırma .....	14
3.4.1a. 2B'lu Sistemler .....	14
3.4.1b. 3B'lu Sistemler .....	14
3.4.2. Kontrast Açısından Sınıflandırma .....	14
3.4.2a. İkili .....	14
3.4.2b. Gri Ölçekleme .....	14
3.5. 3B'lu Görme Sistemleri .....	15
3.5.1. Yapısal Işık .....	15
3.5.2. Alan Bulma .....	15
3.5.3. Stereo Görme .....	16
3.6. Görme Sistemlerinin Çalışması .....	17
BÖLÜM-4. BİLGİSAYAR GÖRMESİ ve İMGEÇİKLERİN ELDE EDİLMESİ. 18	
4.1. Giriş .....	18
4.2. Bilgisayar Görmesi .....	18
4.3. Parlaklık İmgeciklerinin Elde Edilmesi .....	18
4.4. Cisim Görüntüsüne Ait Verilerin Elde Edilmesi..	20
4.5. Analog-Sayısal Dönüştürücü .....	22
4.6. Kamera ile Alınan Görüntülerin Ölçeklenmesi ...	24

BÖLÜM-5. İMGECİK ANALİZİ .....	25
5.1. Giriş .....	25
5.2. Kenar Algılama .....	25
5.2.1. Gradient İşlemleri .....	26
5.2.2. Kompas İşlemleri .....	28
5.3. Sınırların Çıkarılması .....	29
5.3.1. Bağlantılar .....	29
5.3.2. Şekil Kenarlarının İzlenmesi .....	29
5.3.3. Kenar Birleştirme ve Heuristic Grafik Araştırması .....	30
5.3.4. Dinamik Programlama .....	32
5.3.5. Hough Dönüşümü .....	34
5.4. Sınırların Çıkarılması .....	35
5.4.1. Chain Kodları .....	35
5.4.2. B-Spline Gösterimi .....	36
5.4.3. Kontrol Noktaları .....	39
BÖLÜM-6. İMGECİKLERİN YORUMLANMASI.....	43
6.1. Giriş .....	43
6.2. Cisim Vasıflarının Çıkarılması .....	43
6.2.1. 2B'lu vasıfların Çıkarılması .....	44
6.3. Üç Boyutlu Data Algılama .....	50
6.4. 3B'lu Uzayı Yorumlayarak Cismin Tanınması ve Yerleştirilmesi .....	51
6.5. 3B'lu Cisim Yüzeylerinin Belirlenmesi .....	53
6.6. 3B'lu Cisimlerin Konumlandırılması .....	54
BÖLÜM-7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	58
7.1. Giriş .....	58
7.2. Sonuçlar .....	58
7.3. Öneriler .....	58
KAYNAKLAR .....	60
ÖZGEÇMİŞ .....	62

## Ö Z E T

Bu tez çalışmasında, üç-yüzlü cisimlerin tanınması ve altı serbestlikle konumlandırılması için, cisim görüntülerindeki parlaklık değişimlerinin algılanması ile yorumlanan 3B 'lu bir görme sistemi sunulmaktadır. Bilindiği gibi üç-yüzlü cisimlerin yapısındaki ana özellikler, üç seviyeli hiyerarşiden oluşur; köşe, kenar, ve yüz. Görüntü düzlemine projeksiyon yapıldığı için, tüm bu özellikler aynı topolojik unsurları taşırlar ve resim yorumlamaya yarayan bağlantılı bir çizgi çizimi oluşturur. Bu bilgiler ışığında ilk olarak, köşe, kenar, ve çizgi çizimi gibi özellikler görüntüdeki parlaklık değişimlerinden elde edilir. Daha sonra bu bilgilerden biri olan köşe noktalarının sınırladığı yüzey alanları arasındaki farklı parlaklık değerlerini de kullanarak alanlama güdümü gerçekleştirilebilir. Bu iki tür bilginin karışımı sayesinde, üç boyutlu şekilleri türetebilir ve bu yüzden tanıma amacıyla cisim tanımaları kurulabilir.

Bu tanıma işleminde etkin bir yorumlama ağaç araştırma algoritması bulunur. Bu algoritma ile daha önceden data bellekte var olan cisim nitelikleri, elde edilen nitelik değerleriyle karşılaştırılması sonucunda tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir.

## S U M M A R Y

This thesis presents a design of 3-D vision system which integrates intensity change and range informations to identify and locates thrihedral objects in six degress of freedom. The key features in the construction of thrihedral representations consist of three levels of hierarchies; vertex, edge, and face. All these features, as projected onto the image plane, retain the same topological properties and form a connected line drawing useful for scene interpretation. From these informations, the adopted strategy of intensity-guided range sensing firstly extracts features (e.g. the line drawing, and the "corner points") from intensity images change of thrihedral scene and then uses them as guide to selectively sense ranges. After that, the goal of intensity processing is to extract such a line drawing from which a set of vertex points for range sensing guidance can be selected. Through the interfusion between both types of information, 3-D shapes can be derived and object descriptions are thus constructed for recognition purpose. To identify the object, interpretation search in 3-D space is applied to the matching between the constructed relational graph and informations stored in database.

This study has been tested at the 3-D objects which have corners, smooth edge, and thrihedral face. Simulation's results are given at the end of thesis.

## B Ö L Ü M 1

### G İ R İ Ş

3B' (Üç boyut) lu katı cisimlerin tanınması ve konumlandırılması, tutup alma, robotla montaj, mekanik parçaların incelenmesi, ve esnek üretim sistemleri gibi konular robotik görme alanında gittikçe artan bir önem sergilemektedir. Üç-yüzeyle hacimsel cisimleri tanımak ve altı serbestlik derecesi içinde bu cisimleri yerleştirmek için parlaklık ve alan bilgilerini kullanan 3B' lu gören bir sistemin tasarımı gerçekleştirilmelidir. 3B' lu görmedeki ana problem, cismin konumuna ve yönlendirilişine bağlı olarak cisim görünüşlerinin birbirinden farklı olmasıdır. Bu yüzden cismi daha verimli ve doğru olarak tanımak için, gözlemciye bağımlı olan, birleşik ve yoğun bir model mevcut olmalıdır. En genel yaklaşım, yüzey yamaları ve 3B' lu kenarlar gibi basit nitelikler cinsinden bir manzara ve model tanımlamak, ve daha sonra bunlar arasında uygun bir eşleme aramaktır. Bu durum 3B' lu uzayda cisim tanımlarının inşasını gerektirir. Daha sonra 3B' lu yorumlama yapan bir algoritma yardımıyla, gözlenen cismi tanımak için veri tabanında saklanan bilgiler ile inşa edilmiş cisim tanımları eşleşilmeye çalışılır. Ve ayrıca robotik işlemler için cisimler konumlandırılabilmesi ve yönlendirilebilmelidir. Bölüm 2'de tanıma ve konumlandırma işleminin uygulanacağı robotik sistemler hakkında genel bilgiler sunulmaktadır.

Bölüm 3' de robotik sistemlerde akıllılık ve görme sistemleri tanıtılarak, bu konudaki değişik sistemler sunulmaktadır.

Bölüm 4' de tanınacak ve konumlandırılacak cisimlere ait görüntü bilgilerinin elde edilmesi incelenmektedir.

Bölüm 5' de bilgisayar ortamına aktarılan imgeciklerin

analizi ve bu imgeciklerin analiz yöntemleri anlatılmaktadır.

Bölüm 6' da analizi yapılan imgeciklerden cisimlere ait niteliklerin elde edilmesi ve yorumlanması algoritmik olarak anlatılmakta ve çalışma sonuçları da sunulmaktadır.

Bölüm 7' de yapılan bu çalışmanın yorumu ve çalışmanın temel oluşturabileceği daha genel anlamdaki tanıma işlemlerine ait öneriler sunulmaktadır.





## B Ö L Ü M 2

### TEMEL ROBOT TEKNOLOJİSİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

#### 2.1. GİRİŞ

Bu bölümdeki amaç, genel robotik sistemler üzerinde kullanılan donanım ve yazılımların temelini anlamak olacaktır. Bu nedenle bu bölümde robotların ne olduğu, nasıl çalıştığı, ve ne yapabilecekleri gösterilecektir. Daha sonra çeşitli robot tiplerini ve herbirinin farklarına değinilecektir.

#### 2.2. ROBOT NEDİR

##### 2.2.1. TANIMLAR

Robotları diğer otomatik düzeneklerden ayırt etmek için çok sayıda biçimsel tanımlamalar yapılmıştır. Bu tanımlamaların çoğu ortak birkaç karakteristiğe sahiptir.

Robotlar; programlanabilen, otomatik düzenekli ve insana benzer şekilde robotik kol hareketlerinin her bir anındaki konumunu kontrollü olarak gerçekleştirecek şekildedir.

Robot sadece bir makina düzenegi veya mekaniksel bir kişi değildir. Robot, insanın bazı özelliklerini yapabilen ve daha geniş veya daha özel işlemleri gerçekleştirebilecek şekilde bilgisayar tarafından kontrol edilebilen özel bir mekaniksel düzenektir. Robot hakkında, endüstride kabul edilen, çok özel tanımlamalar oluşturan ve farklı görüş noktalarına sahip iki popüler tanımlama vardır. Birinci tanımlama, Uluslar-arası Bilgisayar Yardımlı Üretim (CAM-I) tarafından geliştirilen bu tanıma göre, robot çoğunlukla insana ait bazı fonksiyonları yapabilen veya

hemen hemen insan kadar akıllı görünüşte işlemleri gerçekleştirebilen mekaniksel bir düzendir.

İkinci tanım ise Amerikan Robotik Enstitüsü ( RIA ) tarafından geliştirilmiştir. Bu tanımlamaya göre ise, robot programlanabilir, çok fonksiyonlu, çeşitli konumlarda hareket kabiliyetlerine sahip mekaniksel bir düzenden oluşan özel amaçlı bir düzendir.

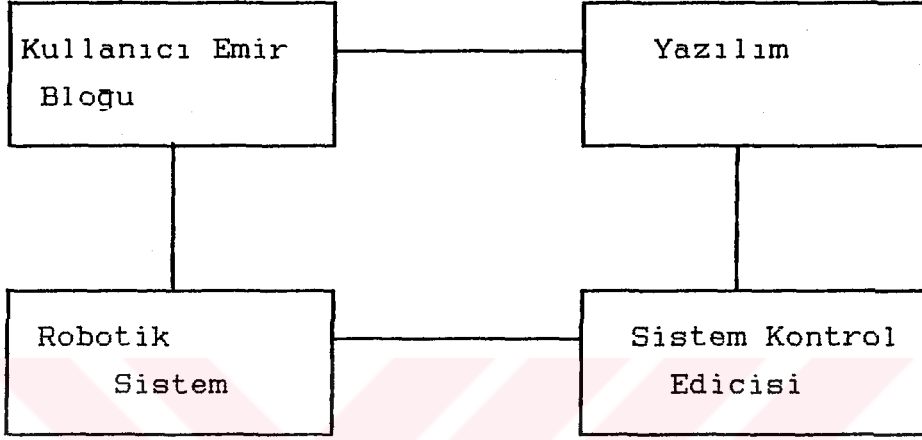
Robot kelimesinin kendisi Çekoslavakça'da mecburi servis veya çalışma manasındaki "Robota" kelimesinden türetilmiştir. İlk olarak bu robot kelimesini bilim kurgu yazarı olan Karel Capek 1921'de yazdığı R.U.R. (Rossum'un evrensel robotları ) adlı oyununda kullandı. Daha sonra, Isaac Asimov'un 1950'de yazdığı bir romanla robot oldukça güncelleşti. Fakat günümüz robotları bir bilim kurgu karakteri gibi tamamen insana benzer özelliklere sahip değildir. Günümüz robotu, üretim uygulamalarında kullanılabilen yapmacık kabiliyetli otomatik bir düzendir [1].

### 2.2.2. TARİHÇESİ

Robotlar sayısal kontrol (SK) teknolojisinin bir uzantısıdır. Robotun temeli programlanarak kontrol edilen bir mekanik kol düzeneğidir. Programlamanın ve kontrol tekniklerinin çoğu sayısal kontrollu makina aletlerinde kullanılan tekniklerden çıkarılmıştır. Robot için ilk patent İngiltere'de 1957 yılında Cyril Walter Kenward tarafından verildi. Bunu takiben 1961'de George C. Devol Amerika Birleşik Devleti'nde patent yayınladı. Bu tasarım Joseph Engellberger'in tasarımıyla birleştirilerek geliştirildi, ve ilk endüstriyel robot oldu. 1959'da General Mötör tarafından bir üretim işlemcisi olarak ilk defa düzenlendi. Bugün binlerce robot dünyanın çeşitli yerlerindeki fabrikalarda çalışmaktadır. Bugünkü bu robotların büyüklükleri, şekil ve kabiliyetleri farklı fakat onların tamamı 1950'de geliştirilmiş benzer teknolojilerden çıkarılmıştır [1].

### 2.2.3. ROBOTİK SİSTEMDEKİ TEMEL ELEMANLAR

Robot tekbaşına bir cihaz değildir. Robot şekil 2.1'de görüldüğü gibi birkaç donanım ve yazılım aksamından oluşturulan bir sistemdir [2].



Şekil 2.1 Robotik Sistemlerdeki Temel Kısımlar

#### 2.2.3.1. Mekaniksel Elemanlar.

Bu parçalar fiziksel robot hareketlerinin ve işlerinin icra edildiği kısımdır. Bu mekanik parçaların içerdikleri:

Manipulator ( Robotik kol dizisi )

Bilek ve el gibi kolun en son parçası

Aktuatörler ( Robotu hareketlendiren motorlar veya sürücüler)

Güç kaynağı ( Sürücü sistemin tipine bağlı olarak sunulan ya motor ya pompa veya kompresörlerdir )

#### 2.2.3.2. Kontrol Sistemi.

Bu sistem , robotu kontrollu hareket ettirmek için kullanılan bir düzenektir ve kabaca şunları içerir:

Mekaniksel, elektriksel veya elektronik kontrolörler

Sensörler (Algılayıcılar)

Arayüz cihazları (parçaları)

### 2.2.3.3. Bilgisayar Sistemi.

Bu sistem gerekli program ve robot kontrolü için data işlemlerini gerçekleştirir. Bunun içerikleri ise:

İşlemci(CPU)

Kullanıcı arayüz elemanı ( yani klavye,ekran )

Sistem yazılımı

Uygulama programları

Robotlar değişik amaçlı kullanım yerlerine ve bu temel elementlerin kombinasyonlarına göre çok değişik yönlerden farklı sınıflandırılabilir. Robotlar insanların yaptığı işleri gerçekleştirmek için tasarlandığından, bir çok temel özellikleri insana benzemektedir. Robotlar kendi elleriyle (el, kol, ve bilek) cisimlere uzanmayı, tutmayı ve hareket ettirmeyi kontrollu yaparlar. Robotların hareketlerini yapabilmeleri için gerekli olan enerjileri güçkaynakları tarafından üretilir. Ayrıca robotik sistemler hareketlerini programlı ve kontrollu yapabilmeleri için datayı işleyebilen, gerekli bilgileri tutabilen ve işlemleri gerçekleştirecek şekilde işleyebilen sistemlerde sahiptirler.

### 2.2.4. ROBOTLAR NİÇİN KULANILIR

Robotlar üretimdeki uygulamaları artırma gibi benzeri birçok sebeplerden dolayı kullanılmaktadırlar. Bir kısım durumlarda, robotların insanlara alternatif olarak kullanımı veya özel zor koşullarda veya sabit otomasyon işlerinde tercihi oldukça çok avantajlar getirmektedir.

#### 2.2.4.1. Robotlarla insanların karşılaştırılması

- \* Robotlar basit ve tekrarlamalı işleri vasıfsız işçilerden daha kaliteli ve uyumlu yerine getirirler.
- \* Robotlar fabrikalarda geniş, ağır, elini uzatıp alma,

veya ortamları (yani sıcak, kimyasal, radyasyonlu, hava kalitesi gibi) insanlar için tehlikeli ve zor olan işlerin icrasını daha güvenli gerçekleştirebilir.

\* Robotlar insanların çalışmalarında görülen yorgunluk, dinlenme ihtiyacı, dikkatin dağılması veya işi bırakma gibi bazı sınırlayıcı etkilere sahip değildir.

\* Robotların güç, kuvvet, hız, doğruluk ve tekrarlılık gerektiren işlerdeki performans ve kabiliyetleri insanlarınkinden daha iyi olabilir.

\* Robotlar insanların istenmediği maharet gerektirmeyen, sakıncalı, veya düşük ödenekle dolayısıyla düşük çalışma koşullarını içeren işlerin yapılmasında kullanılabilir.

\* Robotlar artan işçi fiyatları bakımından daha ekonomiktir.

#### 2.2.4.2. Robotlarla Otomasyonun Karşılaştırılması

\* Robotlar yeniden programlanabilme ve düzenlenebilme özelliği olduğundan sabit özellikte çalışan otomasyondan daha uygundur.

\* Robotlar otomasyonlardan daha esnek çalışma imkanlarına sahip olduklarından daha hızlı ve kolayca işlemlerini yapabilir.

\* Robotların bir uygulamadaki mekanik hataları daha kolay bir şekilde işlemeleri mümkündür.

Robotların tüm bu avantajlara sahip olmalarına rağmen, tüm üretim uygulamaları için daima en iyi seçenek değildir. Robotların kabiliyet alanlarının geniş olmalarına rağmen, insanın fiziksel maharetini ve akıllı kombinasyonel işlemlerini hâla tam anlamıyla yerine getirememektedirler.

#### 2.3. ROBOT TURLERİ

Endüstriyel robotlar çeşitli şekiller ve alanlara yayılmıştır, fakat bir kaç temel karakteristiklere göre sınıflandırılabilir [1]:

**Mekaniksel konfigürasyon.** Robot kolunun fiziksel geometrisi.

**Hareket serbestliđi.** Robot kolunun hareket edebileceđi yol yörüngesi.

**Sürücü sistem.** Robot kolunu hareket ettirmek için kullanılan güç kaynak tipi.

**Kontrol sistemi.** Robot kol hareketini kontrol etmek için kullanılan sistem ve teknikler.

### 2.3.1. MEKANİKSEL KONFIGÜRASYONLAR

Endüstriyel uygulamalarda şekil 2.2'de görüldüğü gibi dört temel robot kol geometrisi kullanılmaktadır.

#### 2.3.1.1. Dikdörtgen Koordinat Sistemi.

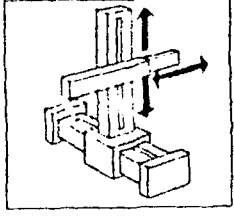
Bu kartezyen koordinat sistemi olarakta bilinir. Bu tip bir geometriye sahip robot, dikdörtgen biçiminde kutu hareketi izleyecek şekilde çeşitli eklemlerden oluşan mekaniksel düzeneklerini doğrusal olarak kontrol eder. Bu konfigürasyon tipi düzgün (tam düz) yol ve kenar ile kenar hareketleri için en uygundur.

#### 2.3.1.2. Silindiriksel Koordinat Sistemi.

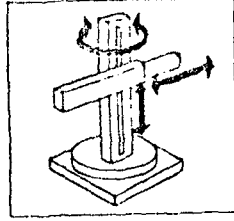
Bu sistem doğrusal koordinat sistemi olarak da bilinir. Bu geometriye sahip robot, silindiriksel şekilde yol izleyen üç eksenli harekete sahiptir. Bu tip sistem tabanı döner, düşey olarak büyür, ve yatay kol hareketi doğrusaldır. Bu tip sistem taban etrafındaki hareket için en uygundur.

#### 2.3.1.3. Küresel Koordinat Sistemi.

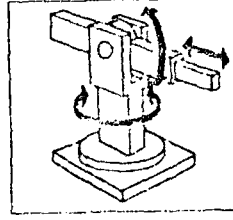
Bu sistem polar koordinat sistemi olarak da bilinir. Bu tip geometriye sahip robot, küresel şekil izleyen üç hareketli eksene sahiptir. Bu sistemin tabanı dönerken, ana vucut eğilir, ve yatay kol dışa ve içe kaydırılır.



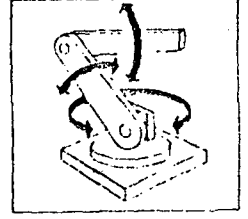
Kartezyen



Silindiriksel



Kutupsal



Dönmeli

Sekil 2.2 Robotlardaki Mekaniksel Gruplar

**2.3.1.4. Geri ve aşağı doğru kıvrılmış koordinat sistemi.**

Bu konfigürasyon insan biçimi (yani insan koluna benzer), mafsallarla birleştirilmiş kol, veya eklemlili kol gibi bir kaç isim ile de bilinmektedir. Bu sistemdeki robot dönen taban, dönen omuz, ve bir de dönen dirsek gibi üç eksenli harekete sahiptir.

## B Ö L Ü M 3

### ROBOTİK SİSTEMLERDE GÖRME

#### 3.1. GİRİŞ

Bu bölümde akıllı robotik sistemler kısaca tanıtılmaktadır. Daha sonra robotik sistemlerde görme işleminin önemine değinilerek, gerekliliği, ve üstünlükleri anlatılmaktadır. Ve kısaca robotik görme sistemlerine değinilecektir.

#### 3.2. ROBOTLARDA AKILLILIK

Robotlarda "akıllılık" teriminin kullanılmasından maksat, değişen ortamlardaki bilgileri kullanarak gerekli değişiklikleri yapabilmesidir. Bu bilgiler bazı algılama teknikleri kullanarak elde edilir. Bir akıllı robotik sistem, içinde bulunduğu mekaniksel işlemleri etkiliyebilir ve kesin bilinmeyen veya değişen koşullarda karar vererek olayda etkili olabilir. Bu tip robotlar çeşitli işleri icra edebilecek veya alanları ve şekilleri değişen (boyutsal tolerans) cisimleri el ile tutabilecek şekilde esnek olabilir. Akıllı robotlar dokunma, görme, işitme, içinde buldukları ortam hakkındaki bilgilerle bir şeyler üretebilecek şekilde insana benzer algılama sistemlerini kullanabilirler. Bu tip robotlar insan gibi yapılacak işlerin sebebini işleyerek düşünür ve hareketleri kontrol edecek şekilde kararlar verir.

Akıllı robotlar tüm robotik kollardan oluşan sistemleri, algılama, hesaplama, ve kontrol fonksiyonlarını yerine getirmeyi otomatik olarak gerçekler. Akıllı türdeki bir robotun fiziksel sistemi şekil3.1 de görüldüğü gibi şunları içerir [3]:



\* Robotun el ve kollarının etkileri olan "uç etkileyiciler"

\* Ortamdan, dokunma veya dokunmadan algılama teknikleri ile elde edilen dataları üreten sensörler

\* Genel olarak kullanılan hiyerarşik kontrol ediciler, işlemciler ve haberleşme kanallarını içeren bilgisayarlar

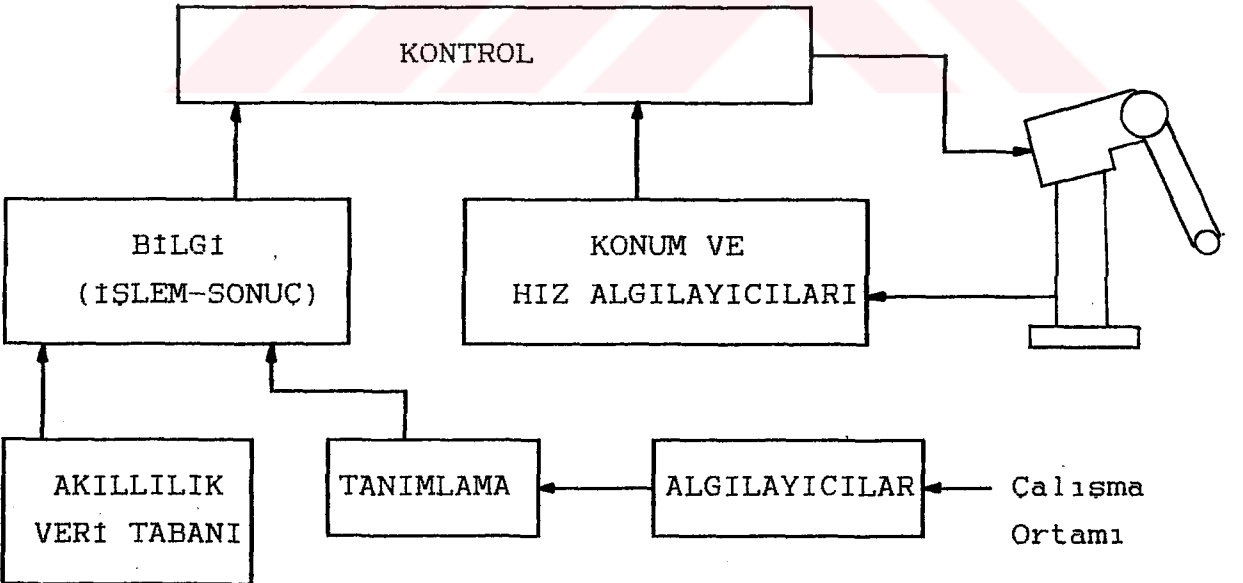
\* Bazı özel uygulamaları yapabilecek yardımcı üniteler  
Akıllı robot sistemleri özel işlerin gerçekleştirilmesinden öte ürün işlemek için gerçekleştirilen imkanları sağlarlar.

Örneğin bu sistemler;

\* Çalışma ortamlarının değişmesinde ve uygunsuz durumlara adaptasyonu sonucunda kusursuz kısımlar veya özel amaçlı sabit parçaların gerekliliğini azaltır.

\* İstenilen şekilde tasarlanan ürünlerdeki otomasyon değişikliklerine imkan verir.

\* Değişik türde yapıldığında çok alet ve işlemcileri gerektiren karmaşık şekilde birleştirilmiş işleri icra eder.



Şekil 3.1 Akıllı Robot Sistemlerinin Fonksiyonel Diyagramı

Akıllı robotlar, gerçekten otomatik üretim yapan sistemler ile kaç tane bilgisayar temel teknolojisinin

bütünleşeceğine belkide en iyi örnektir.

### 3.3. ROBOTİK GÖRME

#### 3.3.1. Robotların Görme Gereksinimleri

Dokunmalı ve dokunmasız farklı biçimlerdeki sensörler robotlara çok geniş ve çeşitli çalışma kabiliyetleri kazandırabilir. Robotlarda görme, daha etkili biçimde veya başka bir şekilde mümkün olmayan işlerin icrasını yapabilecek şekilde daha fazla bilgi elde edebilmede oldukça etkilidir. Robot görme sistemleri su gibi yerlerde kullanılır:

Cisimleri tanıma

Cisimlerin yerini belirleme

Cisimlerin varlığını kontrol etme

Manipulator hareketlerinin veya robotun izleyeceği yolu gösterme

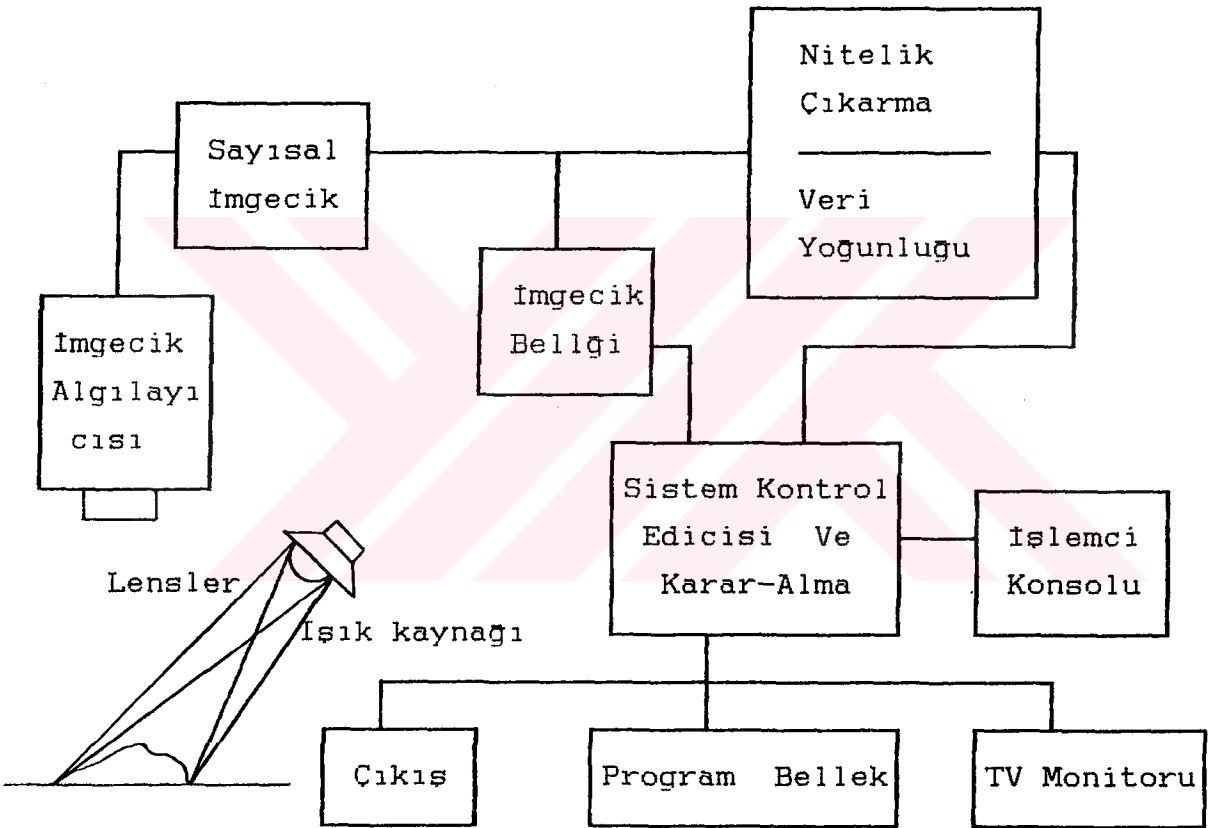
Görme işlemi, yapılacak işin gerektirdiği tanımları ve elde edilecek parçaları dokunmatik yolla algılamadan daha etkilidir. Görme robotların şekil parçaları üzerindeki işlemlerini oldukça etkili olmasına imkan sağlamaktadır. Görebilen bir robot dönen veya değişen çalışma parçasında veya çalışma ortamında hareketlerini birbirine uygun hale getirecek şekilde ayarlayabilir. Bugünkü üretim uygulamalarının çoğu görme kabiliyetini gerektirmez. Bundan dolayı genelde diğer tipteki sensörlerin kullanımı gerekir. Ayrıca elin göz ile birlikte çalışma gerektiği yerlerde ise robotik görme kullanımı gerekli olur.

#### 3.3.2. Bir Robotun Görme Sistemi

Robot görme sistemi temel olarak büyük-alanlı optiksel algılamalı bir düzenedir. Bu sistem görülür ışıkla ve televizyon kamerası gibi bazı imgecik algılama tipleriyle tanımlanacak cisim veya manzaraya ait datayı elde etmede kullanılır. Bu data robot kontrol sistemini süren bilgisayar tarafından işlenerek yorumlanır. Bir tipiksel

görme sistemi şunları içerir (Şekil 3.2).

- \* Cisim veya manzaraya yönlendirilmiş bir ışık kaynağı
- \* İmgecik kaydetmek için bir imgecik algılayıcısı
- \* İmgecikleri sayısallaştırmak için bir analog sayısal dönüştürücü
- \* İmgecik ve yoğun olan datadan vasıfları çıkarmak için gerekli olan yüksek hızlı imgecik işlemcisi
- \* Robotu kontrol etmek için bir bilgisayar sistemi
- \* Robot ve diğer cihazlar için arayüz kullanıcısı



Şekil 3.2 Bir Robot Görme Sistemindeki Temel Elementler

Robot görme sistemi cisim veya manzara hakkındaki datayı kameradan elde ederek gerekli işlemlerin icrasına başlamış olur [1]. Kenarlar, alan, veya şekil çevresi gibi anahtar vasıflar bazı geometrik model formları imaj işleme tekniklerinin kullanılmasıyla elde edilen belirlemeden ve datadan çıkartılır.

### 3.4. ROBOT GÖRME SİSTEM TÜRLERİ

Robot görme sistemleri birkaç yönden sınıflandırılabilir;

#### 3.4.1. BOYUTSAL AÇIDAN SINIFLANDIRMA

##### 3.4.1a 2B'Lu Sistemler

Bunlar en yaygın ve en az karışık olanlarıdır. Kenarlar veya dış kenarlar gibi cisimlere ait 2B'lu vasıfların bilinmesi ile tasarlanırlar. Çoğu uygulamalarda cisimleri tanımak için bu 2B'lu sistemler uygundur. Cisimlere ait alan bilgilerini üretebilen çeşitli farklılıklarda 2B'lu sistemler vardır.

##### 3.4.1b 3B'Lu Sistemler

Bu sistemler 2B'lu sistemlerden daha karmaşık ve pahalıdır. İnsan gözüne benzer şekilde cisme ait uzaklık ve derinlik bilgileri gibi sınırları elde etmede ve 3B'lu şekilleri tanımada kabiliyetlidirler. 3B sistemleri üretecek şekilde bir kaç farklı teknik geliştirilmiştir.

#### 3.4.2 KONTRAST AÇISINDAN SINIFLANDIRMA

##### 3.4.2a İkili

Bu en basit görme sistem türüdür. Cisimler yalnızca imajlara ait 2B'lu siyah ve beyazlık bilgileriyle tanınırlar. Gölgesiz veya 3B'lu vasıflar ayırt edilebilir. Bu yaklaşıklık basit veya değişmez şekildeki şekilleri kapsayan eden çoğu uygulamalar için kullanışlıdır.

##### 2.4.2b Gri Ölçekleme

Bu ışıklı ve karanlık gölgelileri ayırt etme kabiliyetleri bakımından daha karmaşık sistemlerdir. Bu

sistem cisimdeki kenarları ve imgeciik vasıfları algılama yönünden elverişlidir. Gri ölçekleme imajlarını işlemek ve yorumlamak için daha karmaşık geometrik algoritmalara ve daha çok hesaplamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

### 3.5. 3B'LU GÖRME SİSTEMLERİ

Endüstride bazı işlemleri yapacak bir robotun, üç boyutlu ortamlarda hareket etmesi ve görebilmesi gerekir. Örneğin, çalışılan band dışındaki parçaları tutma insanlar için basit olabilir, fakat göremeyen bir robot veya insan için mümkün olmayacaktır. Üç boyutlu görme sistemlerine, çalışılan ortamdaki değişimler, işlenen cisimleri akıllı bir şekilde tutma, yerleştirme gibi durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır.

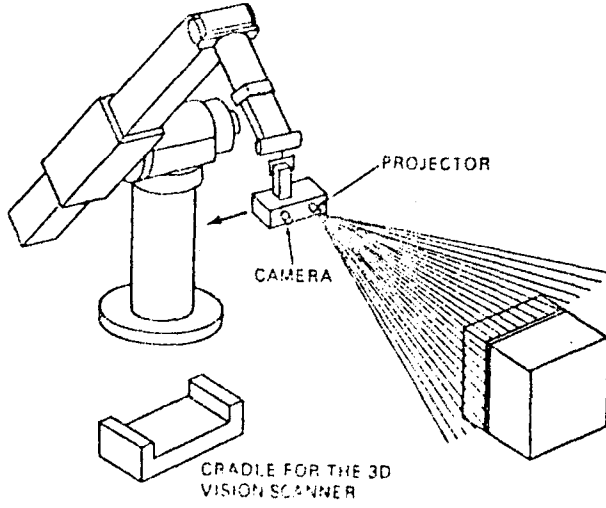
3B'lu görme sistemleri için üç esas teknik kullanılır:

#### 3.5.1. Yapısal Işık

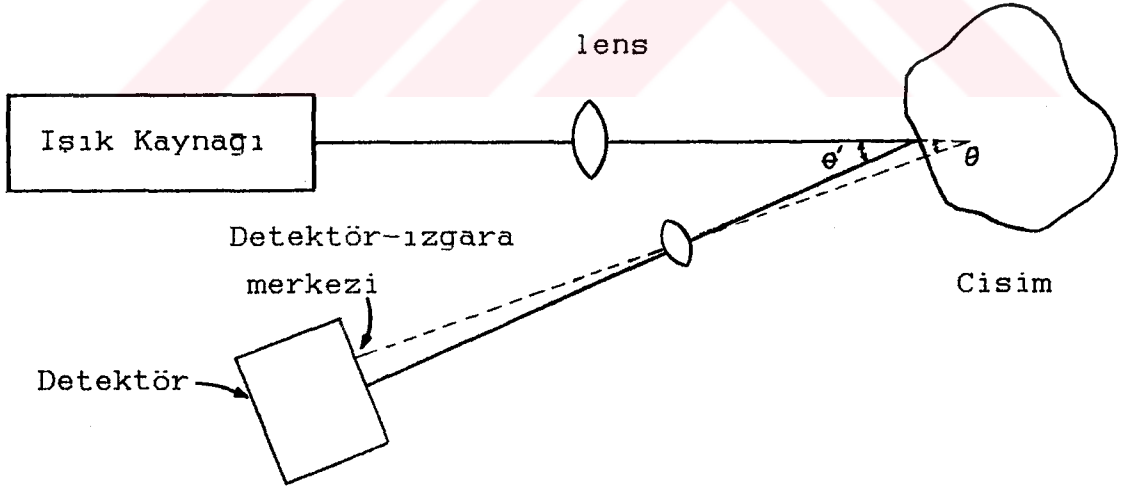
Bu teknik şekil 3.3' de görüldüğü gibi ışık tabancasının cisim üzerine yönlendirilerek kontrol edilmesini gerektirir [1]. Cismin kenarlarından soymaklanan ışık keşismelerinin formüle edilmesinden oluşan model, cismin uzaklığını ve şeklini belirlemede kullanılır. Bu teknik yüksek kontrast gerektirmeksizin cisimleri ayırt edebilir ve hatta parçalar birbirine dokunsa veya üst üste gelse de parçaları tanıyabilir.

#### 3.5.2. Alan Bulma

Bu teknik radara benzer şekilde, cismin yüzeyinden yansıyan ışığı kullanarak cismin uzaklığını ve şeklini belirler [1]. Şekil 3.4 deki gibi ışık kaynağı ve yansımadan algılanan ışıklar arasındaki açı farkları ve üçgen teknikleri ile uzaklıklar hesaplanabilir.



Şekil 3.3 3B'lu Görme Sistemi için Kullanılan Yapısal Işık



Şekil 3.4 3B'lu Sistemleri için Alan Bulma

### 3.5.3. Stereo Görme

Bu insan görmesinde olduğu gibi iki göz kullanılarak elde edilen görme olarakda bilinir. Stereo görme

sistemlerinde iki farklı konumdan data elde etmek için iki kamera kullanılır. Bu iki görmeli sistem dataları, tüm kenarların uzaklıklarını ve cismin yüzeyindeki vasıfları hesaplayabilecek şekilde elde edilmesine imkân verir.

### 3.6. GÖRME SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMASI

Cisimleri algılama ve tanıma için geliştirilen her bir teknik farklı yaklaşımlar kullanmalarına rağmen, uygulanan işlemler benzerdir. Genel amaçlı görme sistemi aşağıda anlatılan sıralı adımları gerçekleştirecektir;

- A. İşlenecek cisme ait dataların algılanması.
- B. Algılanan dataların işlenmesi.
- C. Cismin bulunduğu yüzeye ait datalardan cisme ait dataların ayrılması.
- D. Eşleme veya cisme ait niteliklerin sınıflandırılması ile yorumlama ve tanımlama

Görüntü işleme, kullanılan teknik ve algoritmalara göre çok karmaşık olabilir. Tipik olarak çoğu işlem adımları ve hesaplamalar şu şekildedir;

- \* Kenarların algılanması
- \* Kenarların birbiriyle bağlantılı olup olmadıklarını belirleme
- \* Şekillerle birlikte kenarları uygunlaştırma
- \* Şekilleri sınıflandırma
- \* Referans modellerle şekilleri eşleştirme
- \* Eşlemeleri gerçekleştirme

Tanıma işlemi model eşleme olarak bir korrelasyon veya eşleme şemasının esası olabilir. Kullanılan referans cisimlerine ait dataları karşılaştırmak için gerekli 3B'lu geometrik modellerin kullanılacağı 3B'lu sistemlerin ayrıntı hesaplamaları bilgisayar tasarım sistemi tarafından elde edilir.

## B Ö L Ü M 4

### BİLGİSAYAR GÖRMESİ VE İMGEÇİKLERİN ELDE EDİLMESİ

#### 4.1. GİRİŞ

Bu bölümde bilgisayar görmesinin nasıl olduğu, ve görme işleminden yararlanarak tanınacak cisimlere ait verilerin nasıl elde edildiğine değinilecektir.

#### 4.2. BİLGİSAYAR GÖRMESİ

Tanınacak ve konumlandırılacak 3B'lu cisme ait dataların algılanması gerekir. Bu dataları algılamak için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Fakat bütün bu yöntemlerin ortak yönlerinden birisi cisim görüntüsünün kamera kullanarak elde edilmesidir. Kamerada önemli bir nokta ise, kamera lenslerine gelen ışık enerjisinin elektriksel işarete dönüştürülmesidir. Bu amaçla kullanılan kameralardaki kamera tüp çeşitleri ise, uçan spot tarayıcılı, videkon, orthicon( televizyon alıcı tüpü), plumbicons, ve diğerleri.

Bu çeşit kamera düzenekleri imgeciklerin formu ve imgecik özelliklerinin formüle edilmesi her iki yönden farklıdır. Ancak tüm bu düzenekler ışık enerjisini voltaja çeviren düzeneklere benzerdir [4].

#### 4.3. PARLAKLIK İMGEÇİKLERİNİN ELDE EDİLMESİ

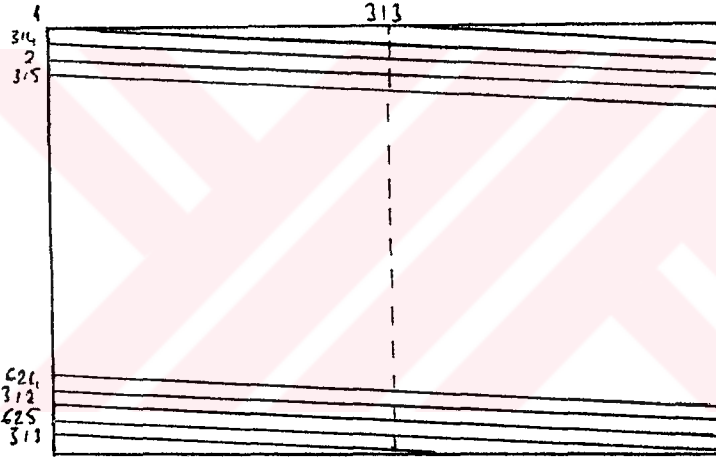
Işığın parlaklığı, ışık algılayıcı hücreler (photosensitive cells) veya ışık algılayıcı direnç düzeneklerinin kullanılmasıyla basit bir elektriksel işarete dönüştürülebilir. Bu düzenekler basit bir şekilde resimdeki her bir noktanın değerini ışığın parlaklık



seviyesi biçiminde temsil edecek olan seri işaretleri üretme işlemi kamera kullanılarak yapılabılır.

Buna göre cisme ait görüntü iletiminin gerçekleşmesi görüntünün her noktasının parlaklığını elektriksel işarete çevirmek gerekir. Daha sonradan bu analog elektriksel işaret, sayısal işarete dönüştürülerek bilgisayar ortamına gönderilir.

Cisme ait görüntüdeki her bir noktanın parlaklığı aynı anda iletilmez, sıra ile iletilir. Bunun için ise tarama gerekir. İlk tarama yöntemi Nipkow diski ile gerçekleştirilmiştir [5]. CCIR normuna göre tarama aşağıdaki şekildeki gibi olur (sıra atlama taraması).



Sekil 4.1. CCD normuna göre sıra atlama tarama

CCD normunda aşağıdaki büyüklükler kabul edilmiştir.

$f_g = 25$  Hz görüntü frekansı

$s =$  sıra sayısı = 625

$f_s = 25 \cdot 625 = 15.625$  Hz, sıra frekansı

$E/Y = 4/3$  E: görüntü eni, Y: görüntü yüksekliği

Düsey ve yatay çözümleme eşit kabul edilir. Böylece  $625 \cdot 4/3$  görüntü elemanının bir satırı oluşturduğu kabul edilir.

#### 4.4. CİSİM GÖRÜNTÜSÜNE AİT VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Bazı video standartları için uydurulan kamera çıkışı tipiksel olarak bir karışımli video veya KYM ( Kırmızı, yeşil, mavi ) işaretidir. Bir tam çerçevedeki ( frame ) piksellilerin modüle edilmiş işaretlerini algılayabilen ve yorumlayabilen bir tutucu düzenek gereklidir. Bir çerçeve tutucusu bir çerçeve bilgisinin konulabileceği birkaç bellek birimlerinden oluşan basitçe bir tek bellek birimi olabilir. Bazı çerçeve tutucuları çerçeveyi tutmak için bilgisayar belleklerini kullanırlar. Çerçevelerin tutulduğu belleklere çerçeve bellek denir.

Gerçek zaman (Real-time) uygulamalarda DMA bağlantılı gibi çerçeve tutucular, bilgisayar belleklerinden bağımsızdırlar. Genellikle çerçeve tutucuları bir resmi sayısallaştırma işlemini uzun sürede yaparlar (renklerde 30-40 sn ) [6].

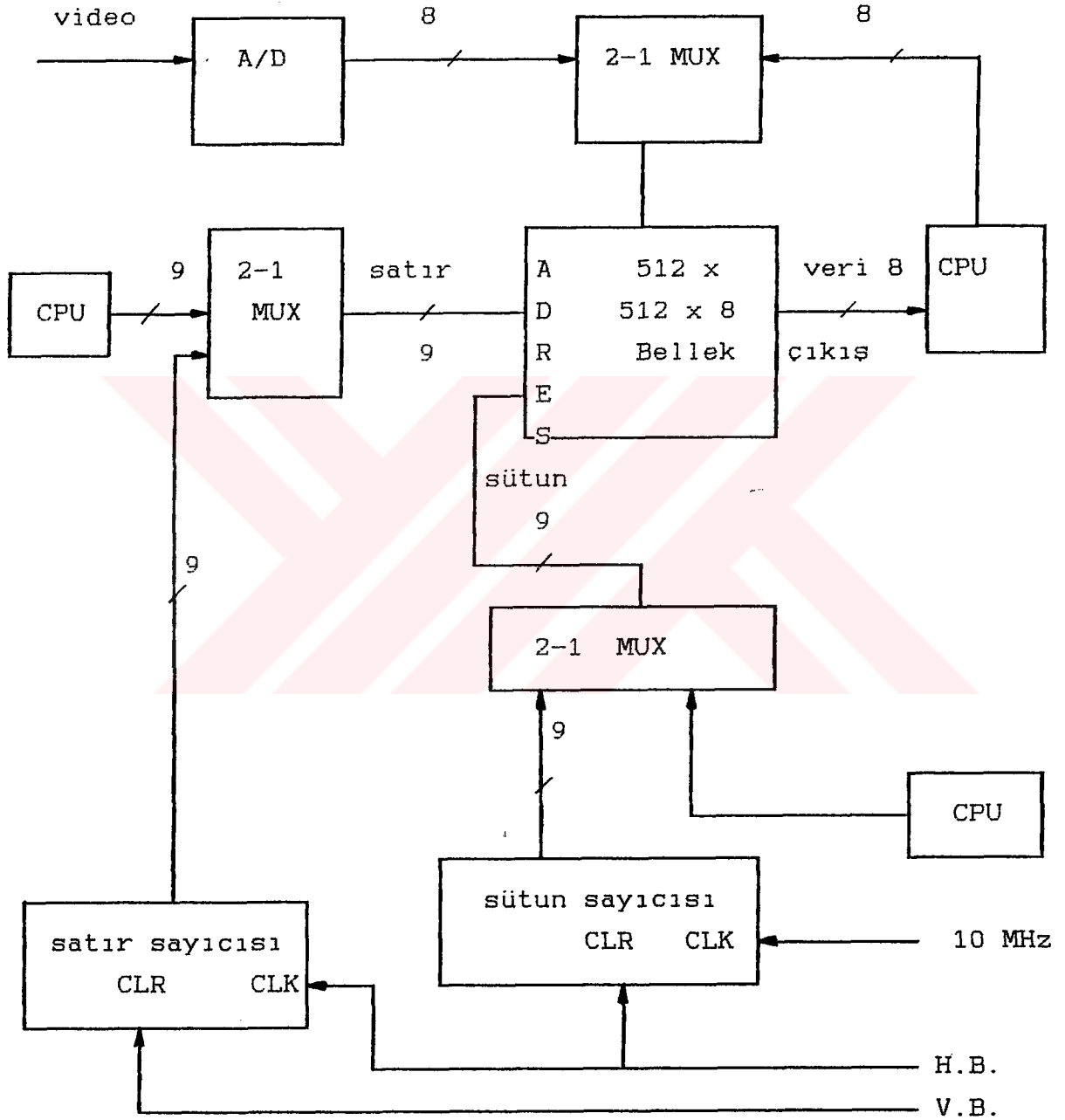
Şekil 4.2 de bir çerçevelik video verisindeki her bir imgeciği 8 bite quantalayabilecek sistem tasarımının blok diyagramı gösterilmektedir. Bu sistemdeki bellek, 512\*512 bir resmi tutabilecek ve 33 ms de elde edebilecek çerçeve tutucusu işlemi yapmaktadır.

Bu tasarımdaki esas önemli kısım, elektron tabancasındaki hareketi senkron sayabilen sayıcıların kullanımınıdır. 9 bitlik sutun sayıcısı 0 dan 511'e kadar 100-ns/sayma oranında sayar. Sutun sayıcısı satır sonu boşluk darbesi (SB) ile sıfırlanır. Böylece sayıcının sıfır değerinde bulunması tabancanın tarayıcı satırınının sol kolun ucunda olduğunu gösterir.

Satır sonu boşluk darbesinin sutun sayıcısını temizlemesine rağmen, bu darbe satır sayıcısını artırmada kullanılır. Böylece satır sayıcısı satır elektron tabancasının halen üzerinde bulunduğu yolu belirler. Tabancayı resmin üstünde işaretleyen görüntü sonu boşluk darbesi (GB) satır sayıcısını temizlemede kullanılır [4].

Satır ve sutun sayıcılarının kombinasyonu 18-bitlik bellek adresinin birleşimidir. Bu sonuçlara göre kamera

ekranı üzerindeki her bir pozisyonun tek bir adresi mevcuttur. Yapılan tanıma ve konumlandırma işlemlerinde ekran üzerindeki her bir imgecik adreslerinin farklı olma özelliğini önemli ölçüde kullanırız.



Sekil 4.2. Videodan alınan verilerin elde edilmesi

Cerçeve tutucularda tutulan bilgiler bilgisayar

tarafından alınarak kullanabilmelidir. Bu işlem biri satır adres busu, biride sütun adres busu olan 2-1 multiplexer ile başarılır. 18 bitlik adres bilgisayar erişimi esnasında, sayıcıdan ve bilgisayardan gelen değerlerin muptiplexlenmesinden elde edilir. Hatalı adreslemeyi engellemek için, A/D dönüştürücüden gelen datayı belleğe yazma işlemi bilgisayar okuyor iken yetkisizlendirilir (disabled).

Böylece cisme ait veriler bilgisayar ortamına bir matrisel formu ifade edebilecek şekilde iletilmiş olur. Bundan sonra yapılacak işlemler ise bu verileri gerekli algoritmik işlemlerden geçirerek sonuç bilgileri elde etmek olacaktır. Bu işlemlere geçmeden önce imgecikleri elde etmede bilinmesi gereken bir konuya daha bakalım.

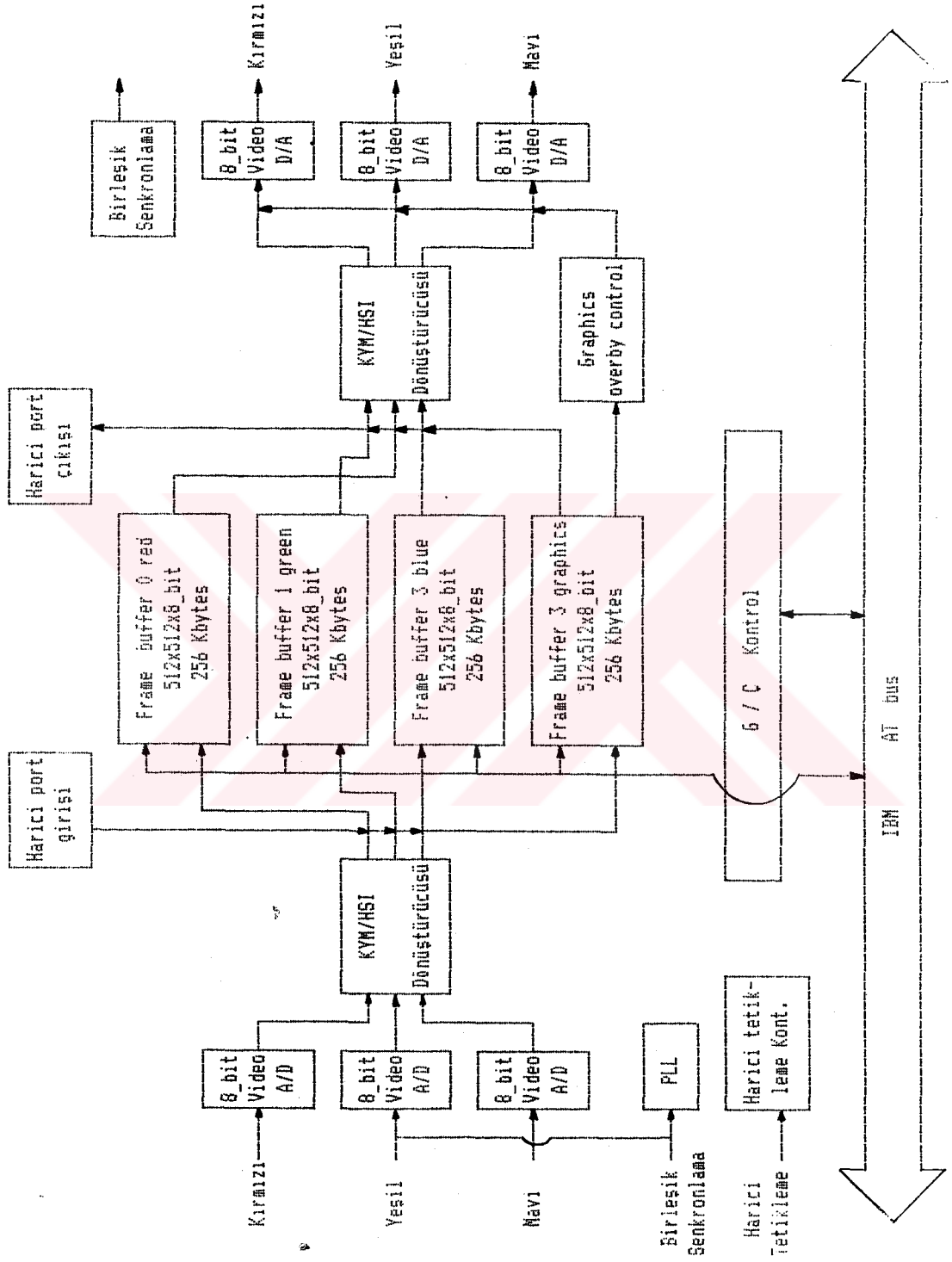
Imgecik 256 gri seviyeli tek renkli bir imgecik ise, gerçek zaman çalışma için aşağıdakiler önerilir;

1. 6.25 Mbyte gerçek zaman şekilde bir saniyede saklayabilecek saklayıcılar gerekir.
2. Bir bilgisayara saniyede ihtiyacı olan 6.25 Mbyte bilgiyi transfer edecek paralel arayüz elemanlar gerekir.
3. Bilgisayarın içinde saniyede 6.25 Mbyte bilginin saklanabileceği bir disk ünitesi gerekir. Bu işlemi bir hard disk veya floppy disk'ten biraz daha hızlı diskler yapabilmektedir [6].

#### 4.5. ANALOG-SAYISAL DÖNÜŞTÜRUCÜ

Bellekten ayrı olarak, çerçeve tutucularındaki merkezi parça bir analog sayısal dönüştürücüdür. Bu düzenek giriş olarak bir voltaj (bir pikselin ışık parlaklığını temsil eder) alır ve çıkış olarakta bilgisayarda kullanılacak bir paralel (sayısal) bit dizisi üretir.

Çerçeve tutucularının hızı her bir A/D dönüştürücünün hızına bağlıdır. Gerçek zaman çalışan sistemlere saniyede altı milyondan ziyade veri dönüştürebilen, yani 160 ns de dönüştürme yapabilen dönüştürücü gereklidir. Bunun manası normal hızlı dönüştürücüler ( $1-20 \cdot 10^{-6}$  s dönüştürücü) gerçek zaman çalışmasındaki resim için çok yavaştır. Flash



Şekil 3.3. Renkli Çerçeve Tutucu Sistemi

videodaki A/D dönüştürücüler 50 MHz veya daha hızlı bir şekilde işlemlerini gerçeklerler, fakat oldukça pahalıdırlar. Bir basit çerçeve tutucu için bir basit A/D dönüştürücü uygun olabilir. Renkler için ise, normalde her bir renk için bir taneden toplam üç tane A/D dönüştürücü kullanılır. Şekil 4.3. de tipiksel bir renkli çerçeve tutucu sistemi görülmektedir.

#### 4.6. KAMERA İLE ALINAN GÖRÜNTÜLERİN ÖLÇEKLENMESİ

Uzaysal parlaklık farklarındaki ve geometrik hatalardaki sonuçları içeren kameradaki hataları göz önüne alacak şekilde kameranın ölçeklenmesi gerekir. Geometrik hatalar kamera modelinin oluşturulması (dünya ile kamera arasındaki transformasyon matrisleri) ile, yazılım kullanılarak düzeltililebilir.

Daha önceden, konumu ve büyüklüğü bilinen bir cisme ait verilerden oluşturulan bir işlemle, kamera görüntüleri ölçeklenebilir. Bu ölçeklemeye göre transformasyon matrisi çıkartılır. Transformasyon matrisi biliniyorsa kameradan elde edilen konumsal görüntüde yaralanarak cismin gerçek dünyadaki konumu belirlenebilir.

## B Ö L Ü M 5

### İMGEÇİK ANALİZİ

#### 5.1. GİRİŞ

Bu bölümde tanınacak cisme ait özellikleri belirlemede kullanılan çeşitli yöntemler anlatılacaktır.

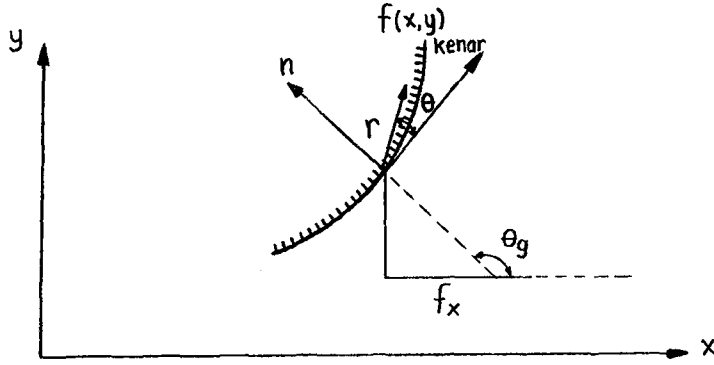
#### 5.2. KENAR ALGILAMA

İmgecik analizinde esas önemli problem kenar algılamadır. Kenarlar cismin sınırlarını karakterize edebilecek özelliklere sahiptirler, ve bu karakterize işleminden yararlanılarak tanıma ve konumlandırma işlemleri gerçekleştirilir.

Kenar noktaları ani gri seviyelerinin değiştiği piksel yerleri olarak düşünülebilir. Örneğin, bir siyah pikselle bir beyaz pikselin komşuluk oluşturduğu noktalar kenar olarak yorumlanması oldukça uygundur. Bu işlemi şu şekilde formülleştirebiliriz.

$$g(m,n)=[u(m,n) \oplus u(m+1,n)] \text{ OR } [u(m,n) \oplus u(m,n+1)] \quad (5.1)$$

burada  $(m,n)$  şekil 5.1'de görüldüğü gibi işlenilmekte olan imgecin yeri,  $u(m,n)$  işlenmekte olan imgecin yüzey parlaklık değeri, (görüntü çerçevesine ait parlaklık eşik seviyesinin altında ise  $u(m,n)=1$ , üstünde ise  $u(m,n)=0$ )  $g(m,n)$  ise işlenmekte olan imgecin kenara ait olup olmama durumudur. Ayrıca buradaki  $\oplus$  işlemi lojik EX-OR işlemidir.



Sekil 5.1. Kenar noktalarını belirleme

Bir  $f(x,y)$  sürekli imgeciği için,  $f(x,y)$  türevinin yerel (local) maksimumunu verdiği noktada, kenarın yönünü verdiği varsayılır [7]. Böylece bir kenar algılama tekniği Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi  $f$ 'in  $r$  boyunca  $\theta$  yönündeki değişiminin bir ölçüsüdür.

Şöyleki;

$$\frac{\partial f}{\partial r} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} = f_x \cos \theta + f_y \sin \theta \quad (5.2)$$

$df/dr$  nin maksimum değeri  $(\partial/\partial\theta) * (\partial f/\partial r) = 0$  olduğunda elde edilir. Bu sonuçlar şunları verecektir;

$$f_x \sin \theta_g + f_y \cos \theta_g = 0 \text{ ise } \theta_g = \tan^{-1}(f_y/f_x) \quad (5.3a)$$

$$(\partial f/\partial r)_{\max} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (5.3b)$$

burada  $\theta_g$  kenarın yönüdür.

Şimdide bu incelemelere temel olacak ve başlıca kullanılan iki tip kenar algılama işlemleri olan gradient ve kompass işlemleri tanıtılacaktır.

### 5.2.1. Gradient İşlemleri

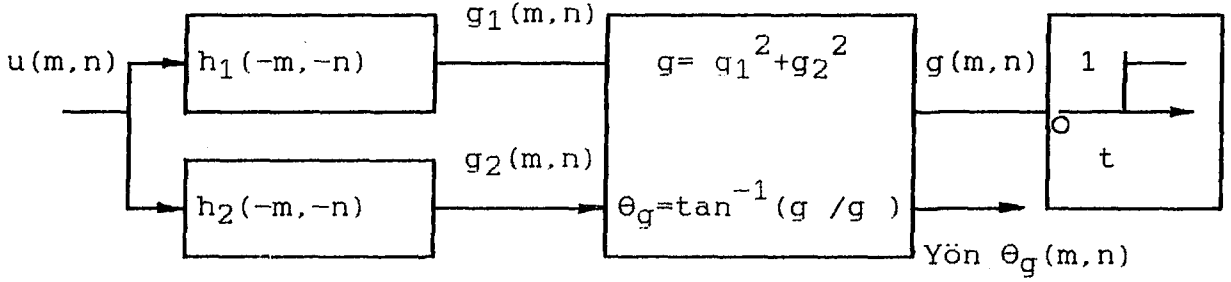
Bunlar şekil 5.2 de görüldüğü gibi iki ortogonal yöndeki  $u(m,n)$  imgeciğinin gradient ölçüsü olan  $H_1, H_2$  maskeleme çiftleri tarafından temsil edilir. Belirlenen iki yönlü



$g_1(m,n)=\langle U,H_1 \rangle_{m,n}$ ,  $g_2=\langle U,H_2 \rangle_{m,n}$  işlemlerinden gradient vektör genliği ve yönü şu şekilde verilir,

$$g(m,n)=g_1^2(m,n)+g_2^2(m,n) \quad (5.4)$$

$$\theta_g(m,n)=\tan^{-1}(g_2(m,n)/g_1(m,n)) \quad (5.5)$$



Şekil 5.2 Gradient işlemleri ile kenar algılama

Genellikle genlik gradienti şu şekilde hesaplanır,

$$g(m,n)=|g_1(m,n)|+|g_2(m,n)| \quad (5.6)$$

Bu hesaplama daha kolay icra edilir ve bilhassa sayısal donanım işlemlerinde tercih edilir.

Bunlara göre bir  $(m,n)$  piksel yerinde eğer  $g(m,n)$  değeri eşik seviyesi olan  $t$  değerini aşıyorsa bu noktada bir kenar yerini ifade ediyor demektir. Kenar noktalarının yerleri kenar haritasını meydana getirir. Bu kenar haritası şu şekilde ifade edilebilir;

$$G(m,n) = \begin{cases} 1 & (m,n) \in I_g \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases} \quad (5.7)$$

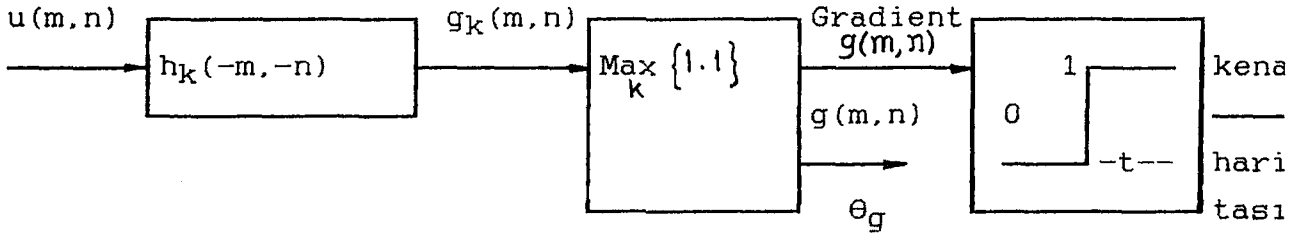
burada

$$I_g^A = [(m,n); g(m,n) > t] \quad (5.8)$$

Sonuç olarak şunu diyebiliriz ki, kenar haritası, cismin imgeciklerle elde edilen sınırları izlemek için gerekli dataları verecektir.

### 5.2.2. Kompass işlemleri

Kompass işlemleri şekil 5.3. de görüldüğü gibi, seçilmiş bir kaç yönlerdeki gradientlerin ölçütüdür [7].



Şekil 5.3. Kompass işlemi ile kenar algılama

Saat dönüş yönünün tersine bir dönüş yönü izlenerek ve sekiz komşu piksel dikkate alınacak şekilde  $45^\circ$  lik bir rotasyon oluşturan gradient yön rotasyonu ise şu şekildedir.

1 1 1 ↑	1 1 0 ↖	1 0 -1 ←	0 -1 -1 ↙
0 0 0 (N)	1 0 -1 (NW)	1 0 -1 (W)	1 0 -1 (SW)
-1 -1 -1	0 -1 -1	1 0 -1	1 1 0
-1 -1 -1 ↓	-1 -1 0 ↘	-1 0 1 →	0 1 1 ↗
0 0 0 (S)	-1 0 1 (SE)	-1 0 1 (E)	-1 0 1 (NE)
1 1 1	0 1 1	-1 0 1	-1 -1 0

$g_k(m,n)$ ,  $\theta_k = \pi/2 + k\pi/4, k=0, \dots, 7$ , yönündeki kompass gradientini gösterecek şekilde ele alalım.  $(m,n)$  noktasındaki gradient şu şekilde belirlenir,

$$g(m,n) \triangleq \max_k \{ |g_k(m,n)| \} \quad (5.9)$$

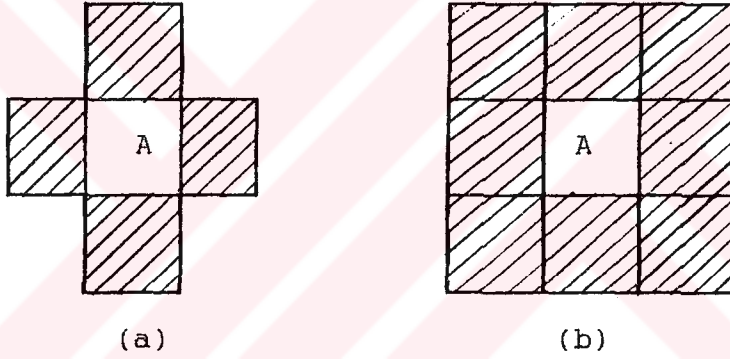
Böylece, dört  $3 \times 3$  lük bir dizi ile karşılıklı ortogonallığını ve bu kompass gradientlerinin uzay bağlantılarını belirlemek mümkündür. Bu dizilere ortogonal gradientler denir, ve kompass gradientleri yerine kullanılır.

### 5.3. SINIRLARIN ÇIKARTILMASI

Sınırlar cismin şeklini karakterize eden kenar çizgileridir. Sınırlar alan ve konumlandırma gibi geometrik vasıfları hesaplamada gereklidir.

#### 5.3.1. Bağlantılar

Kavramsal olarak, sınırlar bağlantılı kenarların izlenmesi ile bulunabilir. Bir dikdörtgen ızgara üzerindeki bir piksel, kendisine en yakın dört veya sekiz komşu pikselleriyle benzer özellikleri gösterdiği zaman sırasıyla dört veya sekiz bağlantılı olduğu söylenebilir (Şekil 5.4) [7].



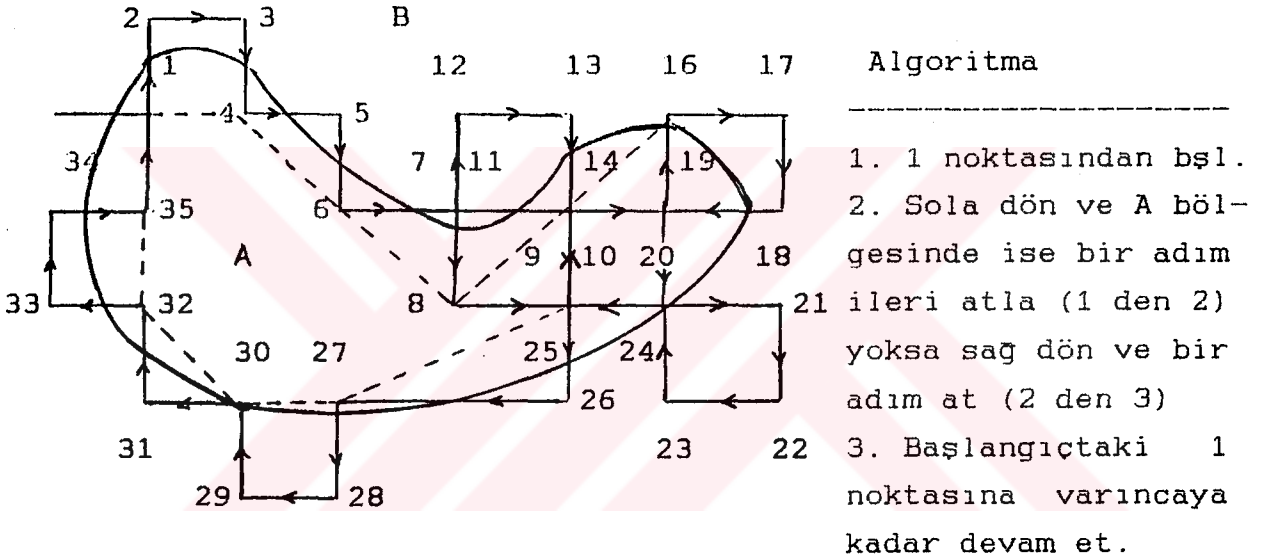
Şekil 5.4 Bir dikdörtgen ızgara bağlantısı. A pikselinin

(a) 4-bağlantılı (b) 8-bağlantılı komşu pikselleri

#### 5.3.2. Şekil Kenarlarının İzlenmesi (Counter Following)

Şekil kenar izleme algoritması birbirini takip eden kenar noktalarının belirlenmesi olan sınır izleme biçimidir. Şekil 5.5 de ikili imajlardan oluşan kapalı sınırları izleyen basit bir algoritma görülmektedir. Bu algoritma bazı sınır piksellerinin iki defa uygulanması ile kaba sınırlamayı kabul edebilir. Kenar pikselleri için sekiz bağlantılı testler üzerindeki inceliklerin esası, şekli

meydana getiren izlemeleri önemlileştirmesidir. Spline eğrileri gibi bir düz (smooth) eğrinin izini veren bir baştan öbür başa olan düğümler cismin çevresini göstermede kullanılabilir. Bu algoritma daima kapalı çevre olarak açık veya kapalı bir sınırla izleyecektir. Bu metod iç sınırdan dış sınıra doğru veya tersine bir gradient hareket yönü olan  $45^\circ$  lik açıdan  $135^\circ$  lik bir açıya dönen kenarlar için yapılan araştırmalardan yararlanarak gri seviyeli imajlara da yaygınlaştırılabilir [7].



Sekil 5.5 İkili imajlarla kenar izleme

Bu çevre izleme metodunun adaptasyonundaki düzenlemesine sıkı-takip algoritması (crack-following algorithm) denir. Algoritmada her bir piksel bir kare şeklinde sınıra sahip olduğu görülür, ve cisim sınırı kenar-piksel sınırlarının takibi tarafından izlenir.

### 5.3.3. Kenar Birleştirme ve Heuristic Grafik Araştırması

Kenar birleştirme sınır kenar parçalarının birbirleriyle birleştirilmesi sonucunda bir grafik biçim oluşturabilen bir yol olarak da görülebilir. Bağlantı kuralları kenar parçalarının bağlantıları için bir işlem verir.  $X_k, k=1,2,\dots$

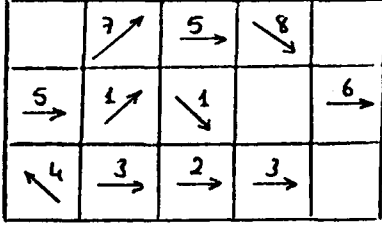
yı A düğümünden B düğümüne olan bağlantıyı formüle eden düğüm yerleri olarak varsayalım. Ve yine  $X_k$  düğümünden geçecek şekilde A dan B ye olan sınırların yol değerlerini veren bir  $\emptyset(X_k)$  değerlendirme fonksiyonunun bize verildiğini varsayalım. Heuristic araştırma algoritmasında, başlangıç düğümünün peşinden gelenini belirleriz, ve  $\emptyset(.)$  maksimum olduğu düğümü seçeriz. Seçilen bu düğüm artık yeni başlangıç düğümümüz olur ve tekrardan bu işlemleri B noktasına varıncaya kadar tekrarlarız. Sonuçta seçilen düğüm dizileri sınır yolunu oluştururlar. Bu algoritmanın hızlılığı  $\emptyset(.)$  seçimine bağlıdır [6].

### Örnek 5.1. Heuristic Araştırma algoritması

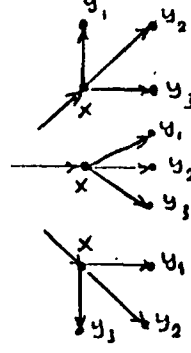
Şekil 5.6a da görüldüğü gibi tüm gradient genlikleri  $|\theta|$  ve eğimlerin çevre yönleri  $\theta$  olan  $3 \times 5$  dizisi halindeki kenarları inceliyelim.

Bağlantı yönünün önündeki sekiz-bağlantılı komşuların ( $Y_1, Y_2$ , veya  $Y_3$  sek. 5. 6b deki) üçünden biri ise ve  $|\theta(x) - \theta(y)| < 90^\circ$  ise, X pikselinden Y pikseline olan inceleme sonucunda bağlantı gerçekleştirilir. Bu şekil 5.6c de grafik olarak verilmektedir.

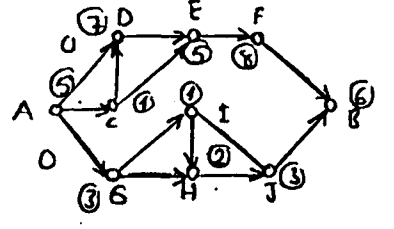
Örnek olarak varsayalım ki  $\emptyset(x_k)$  A dan  $x_k$  olan yol boyunca kenar gradient genliklerinin toplamı olsun. Burada A düğümünün peşinden gelen düğümler D, C, ve G dir, ve  $\emptyset(D)=12$ ,  $\emptyset(C)=6$ , ve  $\emptyset(G)=8$  dir. Bu sonuçlara göre, D düğümü seçilir ve C ve G atılır. Burdaki düğümlerden sonra E, F, ve B düğümleri gerekli yol için elde edilir. Böylece ADEFB diye sınır elde edilmiş olur. Diğer taraftan, ACDEFB yolu maksimum yolun toplanan eğimleridir.



(a) Gradient genlikli çevre yönleri



(b) Bağlantı kuralları

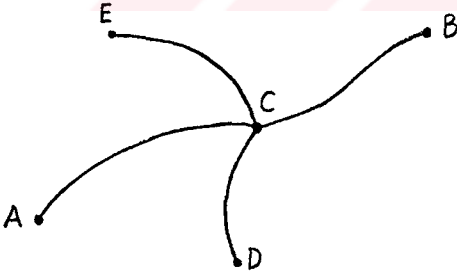


(c) Grafik yorumlama

Şekil 5.6 Sınır çıkarmaları için Heuristic araştırması

#### 5.3.4. Dinamik Programlama

Dinamik programlama çok durum ifade eden işlemlerden yöresel global optimumu bulan bir methodur. Bu metod, verilen iki nokta arasındaki optimum yol, yol üzerinde oluşan her bir iki nokta arasındaki optimumluk olarak ifade edilebilir. Şöyleki, eğer C, A ve B arasındaki yolda (Şek.5.8) optimum bir nokta ise CB parçası C den B ye olan optimum bir yoldur ve C ye nasıl varılacağına önemi yoktur [7].



Şekil 5.7 Bellman'ın optimallik prensibi

Bu düşüncüyü sınır çıkarmada uygulamak için, kenar haritası N ile temsil edilen ileri yöndeki bağlantılarına dönüştürülmüş olduğunu ve değer fonksiyonunda şu şekilde olduğunu farz edelim,

$$S(x_1, x_2, \dots, x_N, N) \stackrel{\Delta}{=} \sum_{k=1}^N |g(x_k)| - \alpha |0(x_k) - 0(x_{k-1})| - \beta \sum_{k=2}^N d(x_k, x_{k-1}) \quad (5.10)$$

Burada  $x_k$ ,  $k=1, \dots, N$  grafikte temsil edilen k cı düğümleri gösterir (şöyleki, kenar piksel yerlerinin vektörüdür),

$d(x,y)$   $x$  ve  $y$  iki düğümü arasındaki uzaklık,  $x_k$  düğümünde  $\alpha$  ve  $\beta$  negatif olmayan parametrelerdir.

Optimum sınır  $x_k, k=1, \dots, N$  bağlantı düğümleri tarafından verilir. Şöyleki  $S(x_1, x_2, \dots, x_N, N)$  maksimumdur. Belirleme şu şekildedir,

$$\Phi(x_N, N) \stackrel{\Delta}{=} \max_{x_1, \dots, x_{N-1}} \{S(x_1, \dots, x_N)\} \quad (5.11)$$

5.10 bağıntısını kullanarak, şunları yazabiliriz,

$$\begin{aligned} S(x_1, \dots, x_N) &= S(x_1, \dots, x_{N-1}, N-1) \\ &\quad + (|g(x_N)| - \alpha |\theta(x_N) - \theta(x_{N-1})| - \beta d(x_N, x_{N-1})) \\ &\stackrel{\Delta}{=} S(x_1, \dots, x_{N-1}, N-1) + f(x_{N-1}, x_N) \end{aligned} \quad (5.12)$$

burada  $f(x_{N-1}, x_N)$  parantez içindeki terimleri temsil eder.

5.11 ve 5.12 bağıntılarında  $N=k$  alırsak aşağıdaki sonuçları çıkarırız,

$$\begin{aligned} \Phi(x_k, k) &= \max_{x_1, \dots, x_{k-1}} \{S(x_1, \dots, x_{k-1}, k-1) + f(x_{k-1}, x_k)\} \\ &= \max\{\Phi(x_{k-1}, k-1) + f(x_{k-1}, x_k)\}, \quad k=2, \dots, N \\ S(x_1, \dots, x_N, N) &= \max\{\Phi(x_N, N)\} \\ \Phi(x_1, 1) &\stackrel{\Delta}{=} |g(x_1)| \end{aligned} \quad (5.13)$$

Her bir piksel temsil edilmesinde, her bir  $x_k$  değeri için bir  $\theta(x_k, k)$  optimum araştırması yapılmaktadır. Böylece, her bir  $x_k$   $L$  tane farklı değer alırsa, toplam araştırma için işlem sayısı  $(N-1)(L^2-1) + (L-1)$  dir. Bu işlemde  $L$  ve  $N$  büyük değerli olduklarında  $S(x_1, \dots, x_N, N)$  nin doğrudan maksimumlaştırmak için  $L_{N-1}$  lik araştırmadan daha az araştırma gerekir.

### Örnek 5.2.

Şekil 5.6'daki gradient imajını inceliyelim. Örnek 5. 1 deki bağlama kuralını uyguluyalım ve  $\alpha=4/\pi$ ,  $\beta=0$  alalım, farklı düğüm bağlantılarındaki çeşitli parça değerlerinin

gösterildiği şekil 5.6a daki grafiği elde edelim. Özellikle,  $N=5$  ve  $\emptyset(A,1)=5$ ,  $K=2$  için şunu elde ederiz

$$\emptyset(D,2)=\max(11,12)=12$$

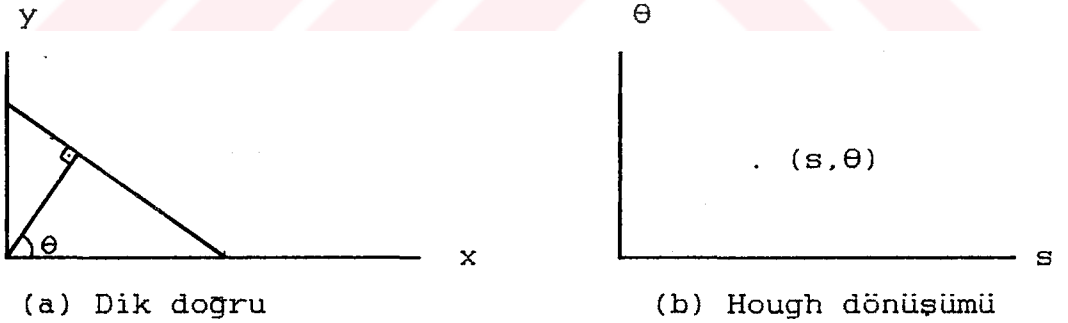
bunun manası D noktasına ulaşmak için ACD yolu seçilir. Yapılan bu işlemle bazı seçilebilir yollar (kesikli çizgilerle gösterilen yollar) elenir.  $k=4$  de yalnızca iki yol kabul edilebilir, bunların isimleri ACDEF ve AGHJ,  $k=5$  de JB yolu elimine edilir ve optimal sınır olarak ACDEFB elde edilir.

### 5.3.5. Hough Dönüşümü

$s$  uzaklığında bir dik doğru ve  $\theta$  lık bir konumlandırma (Şekil 5. 8a) şu şekilde gösterilebilir,

$$s = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta \quad (5.14)$$

Bu doğrunun hough dönüşümü  $(s, \theta)$  yüzeyinde bir noktadır. Bu doğru üzerindeki tüm noktalar tek bir nokta ile ifade edilebilir (Şek. 5. 8b). Bu işlem verilen sınır noktaları takımındaki dik doğruları algılamada kullanılır. Sınır



Şekil 5.8 Hough Dönüşümü

noktalarının  $(x_i, y_i)$ ,  $i=1, \dots, N$  ile verildiğini farz edelim.  $s$  ve  $\theta$  parametrelerinin değerleri bazı mümkün olan nicelikleri bulmak için  $(s, \theta)$  uzayında her bir  $(x_i, y_i)$  haritası seçilir ve  $(s, \theta)$  konumunun haritadaki kenar noktaları sayısı  $c(s, \theta)$  ile sayılır.



$$C(s_k, \theta_1) = C(s_k, \theta_1) + 1, \text{ eğer } x_i \cos \theta + y_i \sin \theta = s_k \text{ } \theta = \theta_1 \text{ için (5.15)}$$

Kenar noktalarından geçen farklı dik doğrunun parçaları  $C(s, \theta)$  de yöresel maksimumu verir. Eğer her bir kenar yeri için  $\theta_i$  gradienti biliniyorsa, iki-boyutlu araştırma bir boyutlu araştırmaya indirgenebilir.  $x'$ 'le ilgili olan (5.14) deki her iki kenar türetildiğinde, şunu elde ederiz

$$\frac{dy}{dx} = -\cot \theta = \tan(\pi/2 + \theta) \quad (5.16)$$

Böylece  $C(s, \theta)$  nin yalnızca  $\theta = \pi/2 - \theta_i$  için hesaplanmasına ihtiyaç vardır. Hough dönüşümünde dik doğrulardan başka eğri kenarları algılamada da genelleştirilebilir. Ancak bu araştırmada parametre uzayının artırılması gerekir [7].

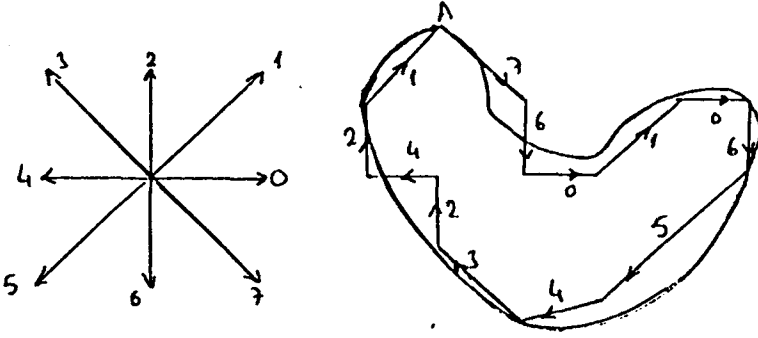
#### 5.4. SINIRLARIN ÇIKARILMASI

Cisim sınırlarındaki uygun gösterimler şeklin sentezi ve analizi için önemlidir. Şekil analizi görüntüdeki cismin algılanması ve tanınması için gereklidir. Şekil sentezi parçaların bilgisayar-destekli tasarımda ve video oyunları gibi imgecik simülasyon uygulamalarında, karikatür hareketlerinde, uçak hava sahanlığının test edildiği olaysal modellemede ve diğer bilgisayar grafik problemlerinde faydalıdır.

##### 5.4.1. Chain Kodları [7-8]

Yön vektörlerindeki chain kodlama birbirini izleyen sınır pikselleri arasındaki kullanımıdır. Örneğin, (Şekil 5.9) yaygın olarak kullanılan chain kodu 3-bitlik kod kelimesiyle kodlanabilen sekiz farklı yön verebilir. Tipiksel olarak, chain kodlama başlangıç piksel adresinden sonra kod kelime dizisi gelecek biçimde oluşur. Böyle kodlar, birbirini izleyen sınır pikselleri arasında kabul edilir yön vektör sayısının artışıyla genelleştirilebilir.

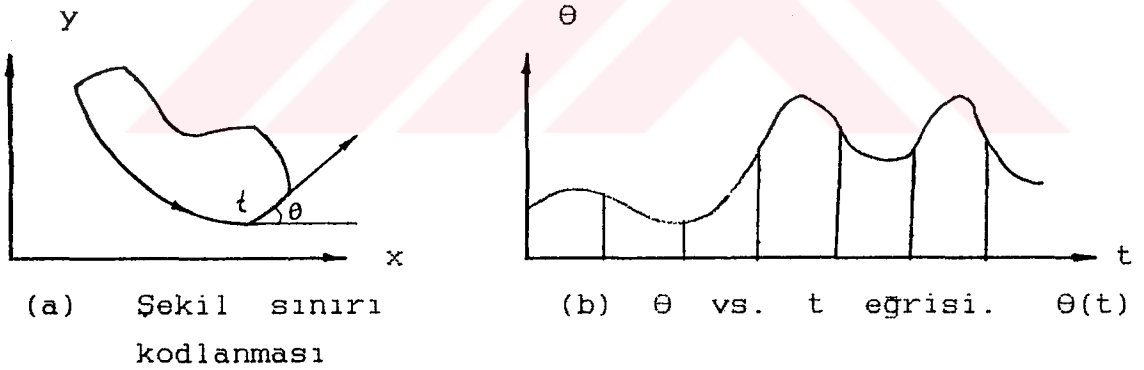
Sınırlı durumlarda şekle ait çevre eğrilikleri  $t$  uzunluğunda çevre fonksiyonu olarak kodlanır (Şekil 5. 10).



Algoritma:

1. Sınır üstündeki A pikselinden başla.
2. En yakın kenar pikselini bul ve yönelme sini kodla. Bitiştir me durumunda en büyük değerli kodlardan bi rini seç.
3. Sınır pikselleri kalmayana kadar devam et.

Şekil 5.9 Sınırların Chain kodlama ile gösterilmesi

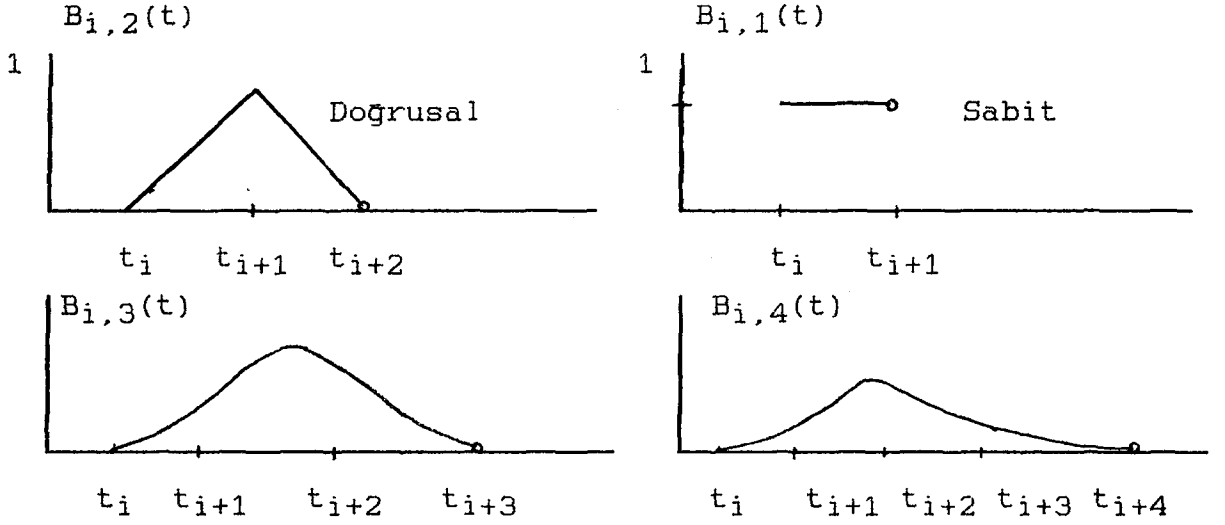


Şekil 5.10 Genelleştirilmiş Chain Kodlama

#### 5.4.2. B-Spline Gösterimi

B-spline'lar az sayıda parametreler kullanarak şeklin çevresini kısmısal (local) yaklaşıklıklarla üretebilen (birden fazla terimi olan) polinomial fonksiyon parçasıdır. İnsanın şekilleri anlaması, şekil çevresini eğri parçaları esasına dayandırarak şekilleri kıyas etmesinden dolayı,

$t$  değişkenine özel değeri  $t_i$  ve  $s_i$  olan düğüm parametresi denir. Şekil 5.11 de bazı B-spline fonksiyonları görülmektedir [7-14].



Şekil 5.11  $K=1,1,3,4$  dereceden normalize edilmiş B-Spline eğrileri

$B_{i,k}(t)$  fonksiyonları parçasal-polinomial fonksiyon uzayında oluşan bir temel biçimdir. Bu fonksiyonlara açık B-splinelar veya kapalı (veya periyodik) B-splinelar denir. Bu tanımlamalarda temsil edilen sınırlar açık veya kapalı olup olmadığına göre bu isimleri alırlar.  $k$  kontrol parametresi, eğrinin süreklilik derecesidir. Örneğin  $k=3$  için spline eğrisi quadratik polinom parçasıdır.  $k=4$  için bu kübik polinomdur. Bilgisayar grafiklerinde  $k=3$  ve  $k=4$  olması genellikle yeterli bulunur.

Bağlar daima aynı biçimde aralık oluşturdıkları zaman,

$$t_{i+1}-t_i = t, \quad i=k-1, \dots, n-k+1 \quad (5.20)$$

$B_{i,k}(t)$  ye aynı tarzdaki spline eğrileri denir, ve  $B_{0,k}(t)$  ye dönüştürülmesi şu şekilde olur,

$$B_{i,k} = B_{0,k}(t-i), \quad i=k-1, \dots, n-k+1 \quad (5.21)$$

$B_{i,k}(t)$  ye yakın sınırlar (5.18) de elde edilir.  $t=1$  li

aynı tarzdaki açık B-spline eğrileri için, bağ değerleri şu şekilde seçilir,

$$t_i = \begin{cases} 0 & i < k \\ i-k+1 & k \leq i \leq n \\ n-k+2 & i > n \end{cases} \quad (5.22)$$

ve aynı tarzdaki periyodik (veya kapalı) B-spline eğrileri için, bağlar şu şekilde seçilebilir,

$$t_i = \text{imod}(n+1) \quad (5.23)$$

$$B_{i,k} = B_{0,k}[(t-i)\text{mod}(n+1)] \quad (5.23)$$

$k=1,2,3,4$  ve (5.23) de verilen bağlar için,  $B_{0,k}(t)$  nin analitik biçimi tablo 5.1 de elde edilmiştir [14].

Tablo 5.1 Tek bir tarzdaki  $0 \leq t \leq n$  için periyodik B-Spline

---

$B_{0,1}(t) =$	1, $0 \leq t < 1$	$B_{0,2}(t) =$	$t$ , $0 \leq t < 1$
			$2-t$ , $1 \leq t < 2$
	0, Diğer durumlarda		0, Diğer durumlarda
$B_{0,3} =$	$t^2$ , $0 \leq t < 1$	$B_{0,4} =$	$t^3/6$ , $0 \leq t < 1$
	$-t^2+3t-1.5$ , $1 \leq t < 2$		$(-3t^3+12t^2-12t+4)/6$ , $1 \leq t < 2$
	$(3-t)^2/2$ , $2 \leq t < 3$		$(3t^3-24t^2+60t-44)/6$ , $2 \leq t < 3$
	0, diğer durumda		$(4-t)^3/6$ , $3 \leq t < 4$
			0, diğer durumda

---

#### 5.4.3. Kontrol Noktaları

$P_i$  kontrol noktaları yalnızca (5.17) deki seri katsayılar değildir, ve bu noktalar fiziksel olarak şekil 5.12 de görüldüğü gibi düzgün eğrileri izleyerek yol gösteren spline polinomlarının düşeylerini belirlerler. Bir

kere verilen kontrol noktaları (5.17) deki bağıntı yolu ile  $x(t)$  eğri izleniminin elde edilmesi mümkündür. Verilen bir sınırı doğru olarak yeniden üretmek için gerekli kontrol noktalarının sayısı bir düz(pürüzsüz(smooth)) eğriyi izlemek için gerekli olan noktaların sayısından genellikle daha azdır. Şekildeki karmaşıklık ve rezülasyonuna bağımlı olarak 10 ile 1000 katsayıları ile data sıkıştırılması gerçekleştirilebilir.

B-spline eğrileri ile üretilmiş bir sınır aşağıdaki kontrol nokta transformasyonuna göre dönüştürülebilir, ölçeklenebilir veya döndürülebilir.



Sekil 5.12 (a) Şeklin orijinal sınırları  
(b) Kontrol noktaları ile cismin sınırları

$$\text{Dönüşüm} \quad P_i = p_i + x_0 \quad x_0 = [x_0, y_0]^T \quad (5.24)$$

$$\text{Ölçekleme} \quad P = \alpha p_i \quad \alpha = \text{skaler bir sayı} \quad (5.25)$$

$$\text{rotasyon} \quad P_i = R p_i \quad R = \begin{bmatrix} \cos\theta_0 & -\sin\theta_0 \\ \sin\theta_0 & \cos\theta_0 \end{bmatrix} \quad (5.26)$$

(5.26) transformasyonunda bir  $\theta_0$  açısı ile saatin ters yönünde bir rotasyon verilmektedir. Böylece cisim sınırları kontrol noktaları yolu ile yeniden üretilebilir. Kütle merkezi, alan ve çevre uzunluğu gibi çoğu gerekli şekil parametreleri kontrol noktalarından kolaylıkla hesaplanabilir.

Genellikle, sınır noktaları  $t = s_0, s_1, \dots, s_n$  gibi ayrık noktalar olarak verilir, ve buradan biz  $p_i$  kontrol

noktalarını bulabiliriz.

$$X(s_j) = \sum p_i B_{i,k}(s_j), \quad j=0,1,\dots,n \quad (5.27)$$

Su şekilde yazılabilir,

$$B_k P = x \quad (5.28)$$

burdaki  $B_k$ ,  $P$  ve  $x$  sırasıyla  $B_{i,k}(s_j)$ ,  $p_i$ ,  $x(s_j)$  nin matrisel elementleri  $(n+1) \times (n+1)$ ,  $(n+1) \times 2$  ve  $(n+1) \times 2$  şeklindedir.  $S_j$  düğüm yerleri  $B_k$  matrisinin nonsingular olduğunu garanti ettiği zaman kontrol nokta dizisi şu şekilde elde edilir [7]

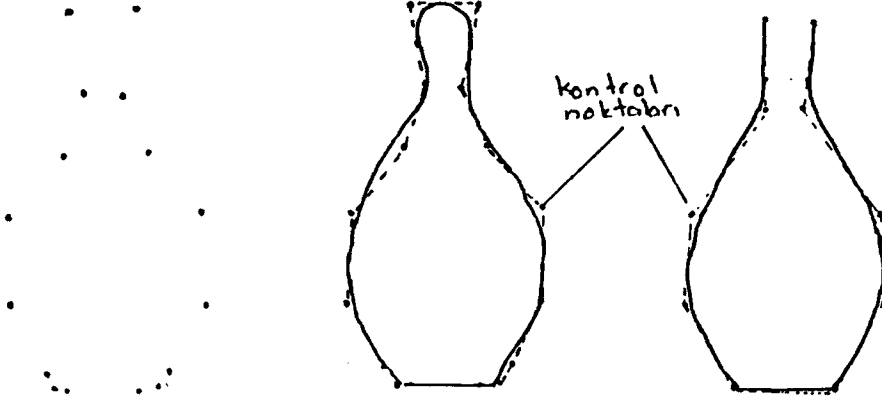
$$P = B_k^{-1} x \quad (5.29)$$

Açık B-spline durumunda,  $B_k$  her  $j$  için  $s_j = t_j$  olduğu zaman Teoplitz'e yakındır.

Tek biçimde örneklenmiş sınırlardan kontrol noktalarını çıkartan metodun bir zorluğu vardır, o da örneklenmiş nokta sayısı kontrol noktaları sayısına eşit olmasının gereğidir. Pratikte, şekil 5.13 de açıkça görüldüğü gibi şeklin çevresi üzerinde çok sayıda örnek noktalarına sahibizdir, ve cismin çevresini doğru olarak göstermek için daha az sayıda kontrol noktaları gerekir. Böylece  $t = d_0, d_1, \dots, d_n$  için  $x(t)$  bize verilir, burada  $m \gg n$ . Ve buradan  $(m+1) \times (n+1)$  eşitlik sistemi üzerinden belirliyebiliriz,

$$x(d_j) = \sum B_{i,k}(d_j) p_i, \quad j=0, \dots, m$$

En küçük kareler tekniği kontrol noktalarını  $p_i$  hesaplamak için kullanılabilir.



Sekil 5.13 (a) Verilen noktalar

(b) B-spline'lerin kuadratik periyotlu yorumlanması

(c) B-spline'lerin kuadratik periyodik olmayan yorumlanması

## B Ö L Ü M 6

### İMGEÇİKLERİN YORUMLANMASI

#### 6.1. GİRİŞ

Bu bölümde analizi yapılan imgeciklerden yararlanarak tanınacak şekilleri ifade edecek niteliklerin elde edilmesi incelenmektedir. Daha sonra elde edilen nitelikleri yorumlamanın nasıl yapıldığı ve nasıl gerçekleştirildiği ifade edilecektir. Son olarak elde edilen deneysel çıktı sonuçları verilecektir.

#### 6.2. CİSİM VASIFLARININ ÇIKARILMASI

Bir parlaklık imgeciğinden vasıf noktalarını seçmek için genel bir kriter, cismin yönlendirilmiş durumu, ve bu yönlendirmeye göre olan parlaklık değişimleridir. Bir kere bu vasıf noktalarının elde edilmesi gerekir. Bu vasıf noktaları geometrik ilişkileri tanımlayan düğümler arasındaki bağlantılarla grafik yapısındaki düğümler olarak gösterilirler.

Vasıf noktalarını çıkarmada kullanılacak temel merkezi konu, tüm parlaklık imgeciklerinin kullanımı olabilir. Vasıf noktaları, vasıfların 3B'lu koordinatlarının alan bilgileri tarafından doğrudan algılanacağı, parlaklık imgeciklerinden belirlenir.

Cisim tanıma işleminde aşağıdaki koşullara dikkat edilmelidir; ilk önce, vasıf noktalarının seçimi cismin durumu ve yönlendirilişindeki parlaklığına nispeten olmalıdır. İkincisi, vasıf noktalarının sınırladığı alan datalarının algılanması ve işlenilmesi gerekir.

Bir kere vasıf noktaları ve bunların yardımıyla üç-boyutlu koordinatlar belirlenmektedir. Ve buradan da bir



cismin grafik, yapısı geometrik olarak çizilmiş olur. Cisim grafiği cismi tamamen göstermek için genellikle eksiktir. Bu yüzden cismin tüm parçalarının gösterimini kısmen yapabilecek şekilde data eldesine gidilir. Ve bunların sonucunda bilinen cisimlerin tam bir model grafiği, elde edilen cisim grafikleriyle karşılaştırılır ve sonuçta eşlemeyi en iyi gerçekleyen model için cisim tanımlandırılır [9-10-11].

Bilindiği gibi 3B'lu cisme ait görüntü bir ekranda gösterilirken, iki boyutlu koordinat ekseninde gösterilmektedir. Üçüncü boyut olan derinlik bilgiside parlaklık değerlerindeki değişim olarak yorumlanmaktadır.

3B'lu cisim vasıflarının çıkarılması ve bunların yorumlanmasına geçmeden önce, bu işlemleri daha iyi anlayabilmek için, 2B'lu vasıfların nasıl çıkarıldığına ve nasıl yorumlandığına bakalım.

#### 6.2.1. 2B' Lu Vasıfların Çıkarılması

2B'lu cisimleri karakterize eden vasıflar, kenarlar, ve köşe noktalarıdır. Bunun için ilk önce kenarların algılanmasına bakalım.

Cisimlere ait görüntüler kameradan alınarak bilgisayar belleğine yerleştirilir. Kameradan cisim görüntüsüne ait olan her bir piksel 0 ile 255 arasında bir parlaklık değerini ifade edecek şekilde bellekte saklanır. Kamera görüntüsü matrisel bir biçim ile ifade edildiğinden, bu değerler matrisel biçim oluşturacak şekilde okunarak değerlendirilmeye tabi tutulabilir.

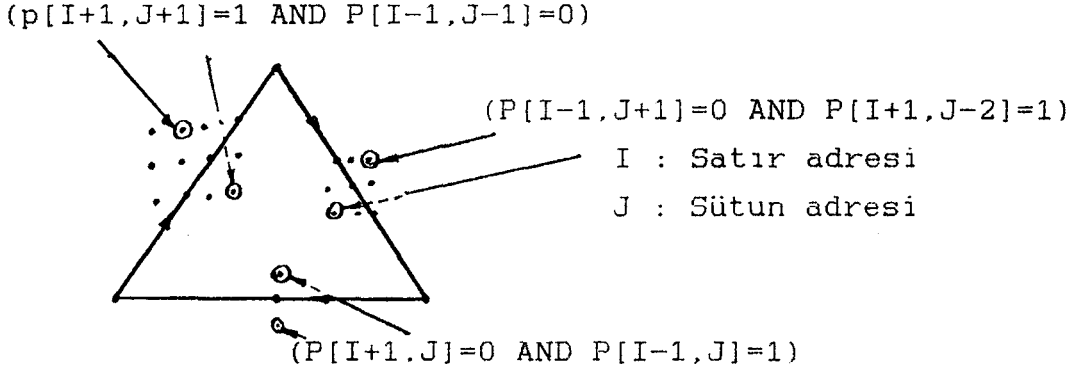
Bundan sonra kenar algılama işlemlerine geçmeden önce tüm bir görüntüyü ifade eden piksel değerleri arasında bir eşik seviye belirleme işlemi yapılır. Bu eşik seviye değerinin bilinmesi ile, cismin kenarlarıyla zemin arasındaki parlaklık değişim işlemleri belirlenir.

En genel halde, incelenen bir pikselin kenar olup olmadığını (6.1) bağıntısı ile ifade edebiliriz.

$$g(m,n)=[u(m,n) \oplus u(m\pm 1,n)] \text{ OR } [u(m,n) \oplus u(m,n\pm 1)] \quad (6.1)$$

iki boyutlu bir cismin nasıl algılandığını bir örnek

üzerinde inceliyelim. Örnek olarak şekil 5.1' deki bir üçgeni ele alalım,



Şekil 6.1. 2B'lu Kenar Algılama Uygulaması

Bundan sonra olacak işlemlere adımsal olarak bakalım;

- 1\_ İlk önce ekranda sol üst köşeden başlayarak, sağ alt köşeye kadar kontrol yapılması sonucunda, tüm bir görüntü çerçevesi taranarak incelenmiş olacaktır.
- 2\_ Görüntü çerçeve tanıma işlemi matrisel biçimde yapılmaktadır.
- 3\_ Tarama işleminde eşik seviyesinin üstünde bir parlaklık değerine rast gelindiğinde, o piksel değerinin ait olduğu cisim incelenmeye başlanılmaktadır. İncelenen cisimler düz, köşeli cisimler olduğundan, cisme ait ilk rastlanan piksel konumu cismin ilk köşe noktası olarak yorumlanmaktadır. Ve yorumlanan bu nokta  $kx[B,k1[0]]$ ,  $ky[B,k1[0]]$  gibi değişkenlere atanmaktadır. Burada B incelenen cismin hangi cisim olduğunu belirtmektedir.
- 4\_ İlk köşe noktasının belirlenmesinden sonra, saat yönünde bir noktasal dönme ile kenara ait ikinci noktanın konumu belirlenir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Kenar Yönlendirmesi

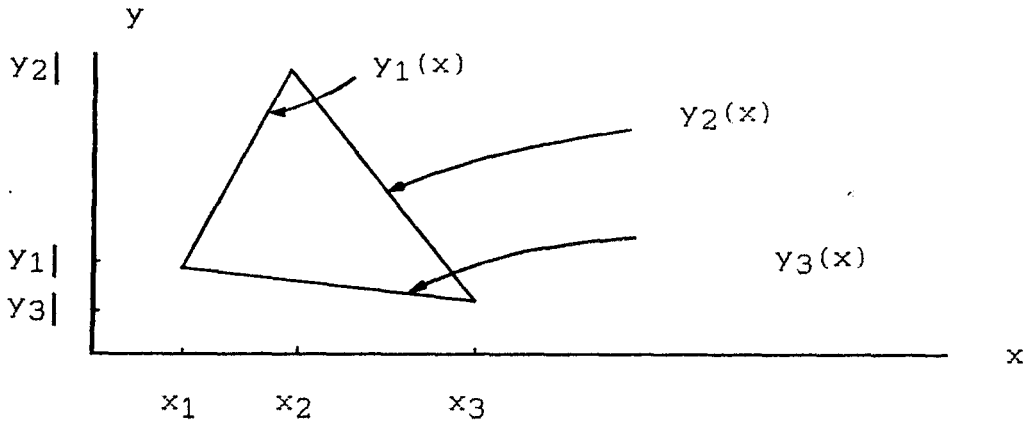
Bu işlemi şu şekilde açıklayabiliriz. İşlenmekteki bir köşe pikseli için, kendisinin gidebileceği altı farklı piksel konumu vardır.

Şekil 6.2b'de görüldüğü gibi, eğer bulunduğumuz nokta köşe ise, bu köşeye göre, saat yönünde dönüldüğünde, ikinci nokta 3 nolu piksel yeri olacaktır. 0 ile 3 nolu pikselin eğimide dikkate alındığında yaklaşık bu doğrultuda işlemi hızlandırmak için, kenar izlenmesine başlanır. Ve bu izleme ikinci bir köşe noktası buluncaya kadar devam eder. Şunları biliyoruz ki, birinci türev işlemleri doğrunun eğimini, ikinci türev ise doğrunun yön değiştirdiği noktayı, yani bizde köşe noktalarını verecektir.

Kenar izleme, şekil 6.1'de görüldüğü gibi, her farklı eğimli kenarlar için yazılmış mantıksal denklemler istenen seviye sonucunu verdikçe devam eder. Bu denklemlerdeki piksel değişimlerinde tolerans olarak bir veya iki piksel konumu alınabilir. Bu tolerans miktarı tanınacak cisimlere bağımlı olarak daha da artırılabilir.

5\_ Bir cisme ait kenar izleme ve köşe belirleme işlemleri, daha önce elde edilmiş ilk köşe noktasına varıncaya kadar devam edilir.

6\_ Cisme ait köşe noktalarının yerleri belirlenince, köşe noktalarının birbirleriyle olan konumsal irtibatlarının denklemleri çıkartılır. Bunu bir örnek üzerinde görelim;



Şekil 6.3 Genel Bir Üçgen Şekli

$$(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) = m_1 \quad m_2 = - (y_3 - y_2) / (x_3 - x_1)$$

$$m_3 = - (y_3 - y_1) / (x_3 - x_1)$$

$$y_1(x) = m_1x + b$$

$$y_2(x) = m_2x + c$$

$$y_3(x) = m_3x + d$$

1. kenarın uzunluğu  $l_1 = ((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)^{1/2}$
2. kenarın uzunluğu  $l_2 = ((x_3 - x_2)^2 + (y_2 - y_3)^2)^{1/2}$
3. kenarın uzunluğu  $l_3 = ((x_3 - x_1)^2 + (y_1 - y_3)^2)^{1/2}$

$l_1 = l_2 = l_3$  ise eşkenar üçgen

$l_1 = l_2$  veya  $l_1 = l_3$  veya  $l_2 = l_3$  ise ikiz kenar üçgen

$l_1 = l_2 = l_3$  ise üç kenarı eşit olmayan bir üçgendir,

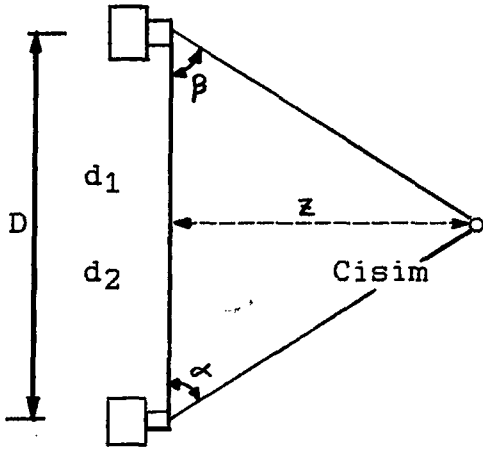
ve benzeri bağıntılarla da kenar eğim açıları da elde edilebilmektedir.

Böylece, cisme ait her bir kenarın uzunluğu, eğimi, ve bitiştiği diğer kenarlarla olan durumu elde edildikten sonra, cisimler kolaylıkla yorumlanabilmektedirler. Bu yorumlamada cisimler daima ekran pikselleri arasındaki ilişkiye göre yorumlanmaktadır. Gerçek dünyadaki konumu ve yönlendirilişi yorumlanırken ters transformasyon işlemleri yapılmaktadır.

Bu transformasyon işleminde gerekli olacak olan köşe konum belirleme katsayılarını şekil 6.4 de görüldüğü gibi bir üçgen metodu kullanılarak bulunabilir [6].

Bir düzlemdeki bir noktanın diğer bir düzleme taşınmasına öteleme diyoruz. Öteleme miktarı matrisel işlemlerde kullanılarak diğer bir düzlemdeki noktayı istenen düzlemde ifade edebilmektedir. Bu işlemlerdeki transformasyonlar ise şu şekildedir,

$[x \ y]$  ile tanımlanan bir vektör diğer bir düzlemde  $[x^* \ y^*]$  dönüşüyor olsun.



(a)

$$\tan\beta = \frac{z}{d_1}, \quad \tan\alpha = \frac{z}{d_2}$$

$$d_1 = \frac{z}{\tan\beta}, \quad d_2 = \frac{z}{\tan\alpha}$$

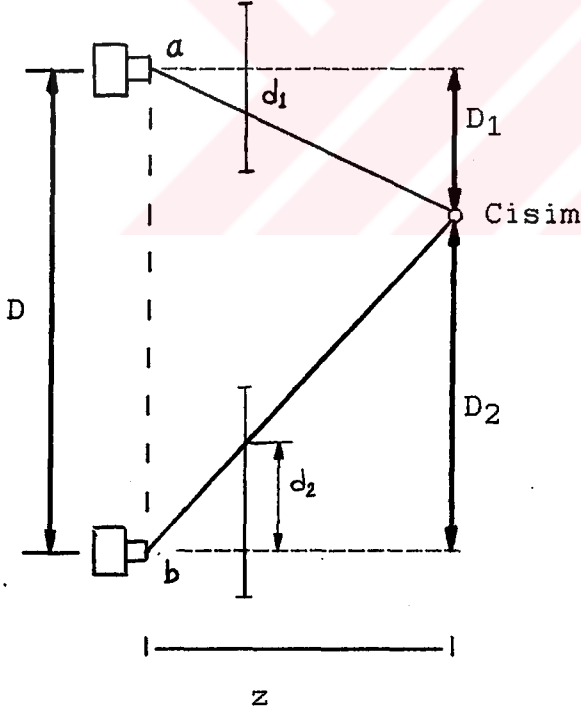
$$\text{burada } d_1 + d_2 = D$$

$$D = \frac{z}{\tan\beta} + \frac{z}{\tan\alpha} = \frac{z \tan\beta + z \tan\alpha}{\tan\beta \tan\alpha}$$

$$D = \frac{z(\tan\beta + \tan\alpha)}{\tan\beta \tan\alpha}$$

$$D \tan\alpha \tan\beta$$

$$\text{buna göre } z = \frac{D \tan\alpha \tan\beta}{(\tan\alpha + \tan\beta)}$$



$$\frac{D_1}{z} = \frac{d_1}{\alpha} = \frac{d_2}{b}$$

$$D_1 = \frac{z d_1}{\alpha}, \quad D_2 = \frac{z d_2}{b}$$

$$D = D_1 + D_2$$

$$\frac{z d_1}{\alpha} + \frac{z d_2}{b} = D$$

$$D = z \left( \frac{d_1}{\alpha} + \frac{d_2}{b} \right)$$

$$z = \frac{D}{d_1/\alpha + d_2/b}$$

Şekil 6.4 Üçgen bağıntıları (a) açılar ve (b) benzer üçgenler

$$[x \ y \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ m & n \end{bmatrix} = [x+m \ y+n] = [x^* \ y^*]$$

m ve n ye öteleme katsayıları diyoruz.

Genel bir biçimdeki transformasyon matrisi ise şu şekilde olacaktır,

$$[X \ Y \ H] = [x \ y \ 1] \begin{bmatrix} a & b & p \\ c & d & q \\ m & n & s \end{bmatrix}$$

$$= [ax+cy+m \ bx+dy+n \ px+qy+s]$$

a, d ölçekleme; c, b rotasyon; m,n öteleme; p, q projeksiyon doğrusu; s ise genel ölçekleme katsayılarıdır. Bu katsayılar ve transformasyon matrisi iki boyutlu cisimler içindir. Üç boyutlu cisimler için ise [14].

ölçekleme, rotasyon, yansıma, kesme

$$T = \begin{bmatrix} a & b & c & | & p \\ d & e & f & | & q \\ h & i & j & | & r \\ \hline l & m & n & | & s \end{bmatrix}$$

projeksiyon

genel öteleme

öteleme

7\_ İncelenen cisme ait tüm datalar incelenerek gerekli bilgiler elde edildikten sonra bu cismin bulunduğu koordinatlar arasındaki değerler zemin parlaklık değerine dönüştürülür. Ve tarama işleminde bu cisme ilk rastlanan noktadan itibaren yeniden tarama işlemi devam eder.

8\_ Bu işlemler ekranın sağ alt köşesindeki koordinat noktasına kadar devam edecektir.

### 6.3. UÇ BOYUTLU DATA ALGILAMA

3-B'lu tanımlamanın koşulu genellikle imgecik geometri bilgisiyle (yani aydınlatma yönü ve yüzey yansıması) birlikte bölge bulucusunun veya imgecik görünüşünün kullanımını gerektirir. Yalnızca parlaklık (intensity) bilgisinden çıkartılması sonucunda kullanılan metodlar, genellikle, parlaklık bilgilerinin çabuk elde edilebilir data olmasından dolayı 3-B'lu yapıların oluşturulmasında bu bilgileri kullanır. Araştırmaların çoğu, manzara (cisim görüntüsü) hakkında oldukça çok bilgi sunabilen cisim bölgelerine ait dataların analizi üzerinde odaklaştırılmıştır [12].

Parlaklık imgeciklerinin çabuk yakalanabilen imgecik olması ile birlikte, tanınacak cisme ait parlaklık imgeciği içindeki vasıflar, cisim yüzeylerini çıkarmak için yapılan inceleme alanlarını minimuma indirerek bölgelere ait dataların elde edilme sürelerini mümkün olduğu kadar azaltılabilmesine imkan sağladığından, 'Parlaklık-güdümlü bir alan algılama' yöntemi uygulanılmaktadır. Parlaklık ve alan domenlerinden gelen bilgileri integre ederek, cisim hakkındaki geometrik ve topolojik özellikleri gösteren bir algoritma uygulanmıştır.

Bir kere 3B'lu koordinatlar cisim noktalar takımının yığılmış biçimidir. Parlaklık imgecikleri içinden elde edilen ve kontrol noktaları biçiminde kullanılan köşe noktaları, bilinmeyen bir cismin grafiksel yapısını temsil edecek özellik ilişkilerinin çıkarılmasını organize ederler. Tanımlanan cisimler ilkel cisimlerle (burada, cisim yüzeyleri) temsil edilir ve sayısal nitelikler<sup>2</sup> üzerinde önem verilen hususlar kendi aralarında ilişkilidir. Sonuçta çıkartılan geometriksel ve topolojikselle özellikler tanımlama ve konumlandırma işlemini gerçekleştirmede önemli yer tutarlar.

#### 6.4. 3B'LU UZAYI YORUMLAYARAK CİSMİN TANINMASI VE YERLEŞTİRİLMESİ

3B'lu uzayda duran bir cisim tanıyabilmek için başlangıçta, cismin tüm özelliklerinin ifade edilebileceği kadar minimum sayıda dataların belirlenmesi gerekir. Bu dataları belirlemek için kullanılan en uygun yöntemlerden biri tanınacak cismin görüntüsünü kamera ile alıp, görüntü değerlerini işleyerek cisme ait karakteristik özelliklerin elde edilmesidir.

Bu karakteristik özelliklerin belirlenmesinden sonra, bu dataların yorumlanarak ne tür bir cisim belirttiği sonucuna varılır.

Belirlenmiş cisim yerleştirme, sensör koordinat sistemi ve model koordinat sistemi arasındaki durumun öğrenilebileceği rotasyon ve dönüşümü içeren bir transformasyondur. Daha sonra model koordinatlarındaki herhangi özel veya özelliğe ilişkin noktalar (mesela robotik işler için yakalama noktaları), algılayıcı koordinatlarda beklenen koordinatları elde etmek için transform edilir.

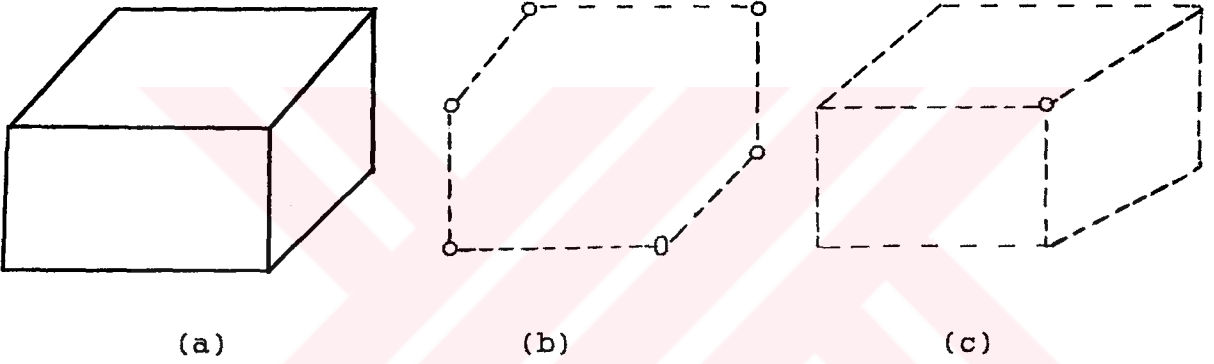
Parlaklık imgeciklerindeki vasıflar bölge noktalarının algılanmasına rehberlik etmede kullanılabilir. Başlangıçta köşeleri, kenarları içeren vasıflar belirlenir. Daha sonra cisim hakkındaki 3B gösterimi geometrik olarak oluşturmak için, şekli tanımlayan yüzey parametreleri ve yüzeylere ait eklemler, kenarlar, açılar v.b. gibi 3B'lu vasıflar ilk önce belirlenmelidir. Bölge algılamada yol, gösterebilmesi için kontrol noktaları biçiminde kullanılan köşe noktaları kümesi yine aynı görüntü içinden elde edilir. Bu kriter sonucunda köşe noktalarının sınırladığı bölgeler işlenerek mümkün olabilecek minimumu sürede 3B'lu görüntüye ait diğer dataların eldesine gidinilmektedir [13].

Üç yüzlü veya çok yüzlü cisimlerin yapısındaki ana özellikler, üç seviyeli hiyerarsiden oluşur. Köşe, kenar ve yüzey. Görüntü düzlemine projeksiyon yapıldığı için tüm bu özellikler aynı topolojik unsurları taşırlar ve resim yorumlamaya yarayan bağlantılı bir çizgi çizimi oluştururlar.



Tanınacak 3B'lu cismin köşe noktalarının belirlenmesi önce cismin tüm yüzey kenarlarının izlenmesi sonucunda olabilir. Bunun için ilk önce cisim yüzey kenarlarının işlenmesi gerekir. Kenarları inceleyerek izleyebilmek için daha önce açıkladığımız kenar algılama metodları kullanarak kenarlar izlenilmektedir.

İzlenen kenarlar sonucunda (şekil 6. 5a), önce 3B'lu cismin dış köşeleri dediğimiz (şekil 6.5b), cisim yüzeyi ile zemin yüzeyinin sınır olduğu kenarların işlenmesi sonucunda elde edilen dış köşeler belirlenir.



Şekil 6.5 a Görüntüsü alınarak kenarları izlenilmiş durumu

b Dış köşe noktaları belirlenmiş durumu

c İç köşe noktaları belirlenmiş durumu

Dış köşe noktaları belirlendikten sonra, bu noktaların sınırladığı bölgeler içinde herhangi bir kenar yani farklı parlaklık değerinde bulunan cisim yüzeylerinin varlığının kontrolü sonucunda ve kenar izleme yöntemlerine benzer bir yolla iç köşe nokta değeri belirlenmektedir (Şekil 6.5c).

Bu iç köşe belirlenirken kenar izlemede farklı parlaklık değerlerine sahip yüzeyler arasındaki değişimden yararlanılmaktadır. Ve aynı şekilde (6.1) bağıntısı yardımıyla da bu iç köşeye götüren iç kenarlar izlenilmektedir.

### 6.5. 3B'LU CİSİM YÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

Tanınacak cisme ait dış ve iç köşe noktaları belirlendikten sonra, bu köşe noktalarının birbirine olan kombinasyonları ve sınırladıkları bölgelerin farklı yüzey parlaklık değerini içeren kombinasyonel bir inceleme ile hangi parlaklıktaki yüzeylerin hangi köşe noktaları tarafından sınırlandırıldığı belirlenmektedir. Belirlenen bu yüzeylere ait köşe noktaların geometrik olarak ifade ettiği yorumlamalardan da, o yüzeyin nasıl bir yüzey şekli olduğu ifade edilebilmektedir.

Köşe noktaları ve yüzey parlaklık değerleri ile yapılan incelemede yüzeyler belirlenirken, ayrıca tanımada ve konumlandırılmada kullanacağımız, yüzeylerin konumları, yani bakış noktalarımıza olan dikliği, eğikliği, eğik ise ne kadar eğik olduğu v.b. bilgilerden de yararlanarak cisme ait derinlik bilgisi elde edilebilmektedir.

Daha sonra, köşe noktaları ve yüzey bilgilerinden de yararlanarak yüzey normalleri belirlenir. Belirlenen yüzeylerden de faydalanarak yüzeylerin birbiriyle yapmış oldukları açıların belirlenmesi sonucunda tanıma ve konumlandırma yapabilecek olan, tanınacak cisme ait dataların elde edilme işlemi tamamlanmış olacaktır.

Buraya kadar elde edilen bilgiler sonucunda, tanınacak cismin kaç yüzeye sahip olduğu, ve yüzeylerin birbiriyle komşuluklarının hangi kenarlarda, ve bitişen yüzeylerin birbiriyle kaç derecelik açı ile oluşmakta olduğu sonuçları işlenen görüntüden çıkarılmış bulunmaktadır. Ve bundan sonra da daha önceden minimum tanıma özellikleri belleğe yerleştirilmiş cisimlerin datalarıyla, bu elde edilen dataların eşleşilmesi sonucunda, tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir.

İşlenmek üzere kamera vasıtası ile görüntüsü alınan cismin, kameranın bulunduğu dünya koordinatlarına göre nerede bulunduğunu belirlemek için de kısaca şu şekilde işlemler yapılmaktadır.

Tanınacak cisimlerin belirli bir uzaklıktan alınan görüntüye göre, kamera görüntüsünde bilinen bir alan biriminin ne kadar imgecik kapladığı belirlenir. Bunun sonucunda imgecik ve oranı ve önceki konularda anlatılan transformasyon işlemlerinden de yararlanarak cismin uzaklığı belirlenir. Uzaklığı belirlenen cismin konumlandırılması ise elde edilen köşe noktaları, yüzeylerin durumu ve uzaklık bilgilerinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir.

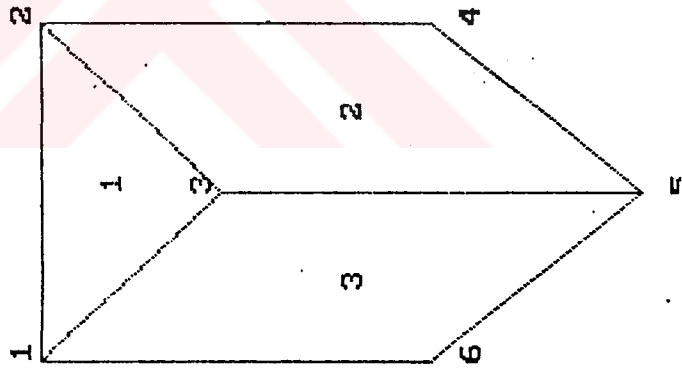
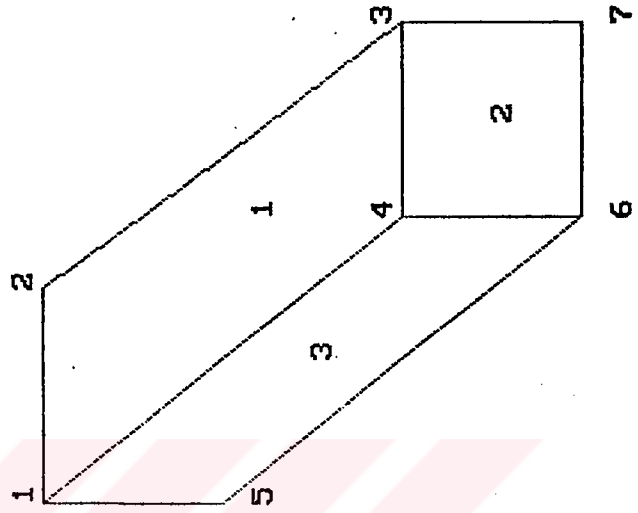
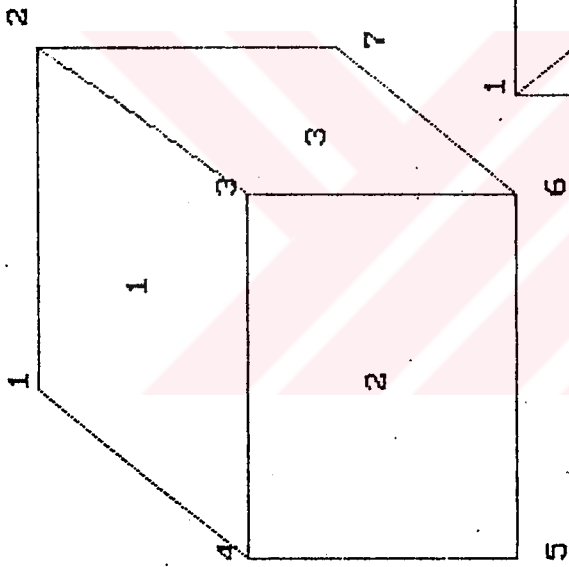
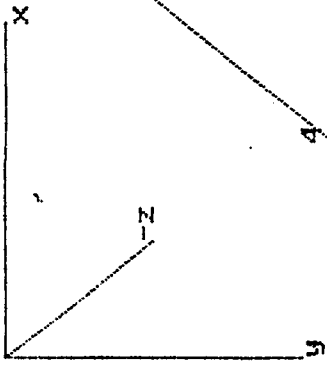
### 6.6. 3B'LU CİSİMLERİN KONUMLANDIRILMASI

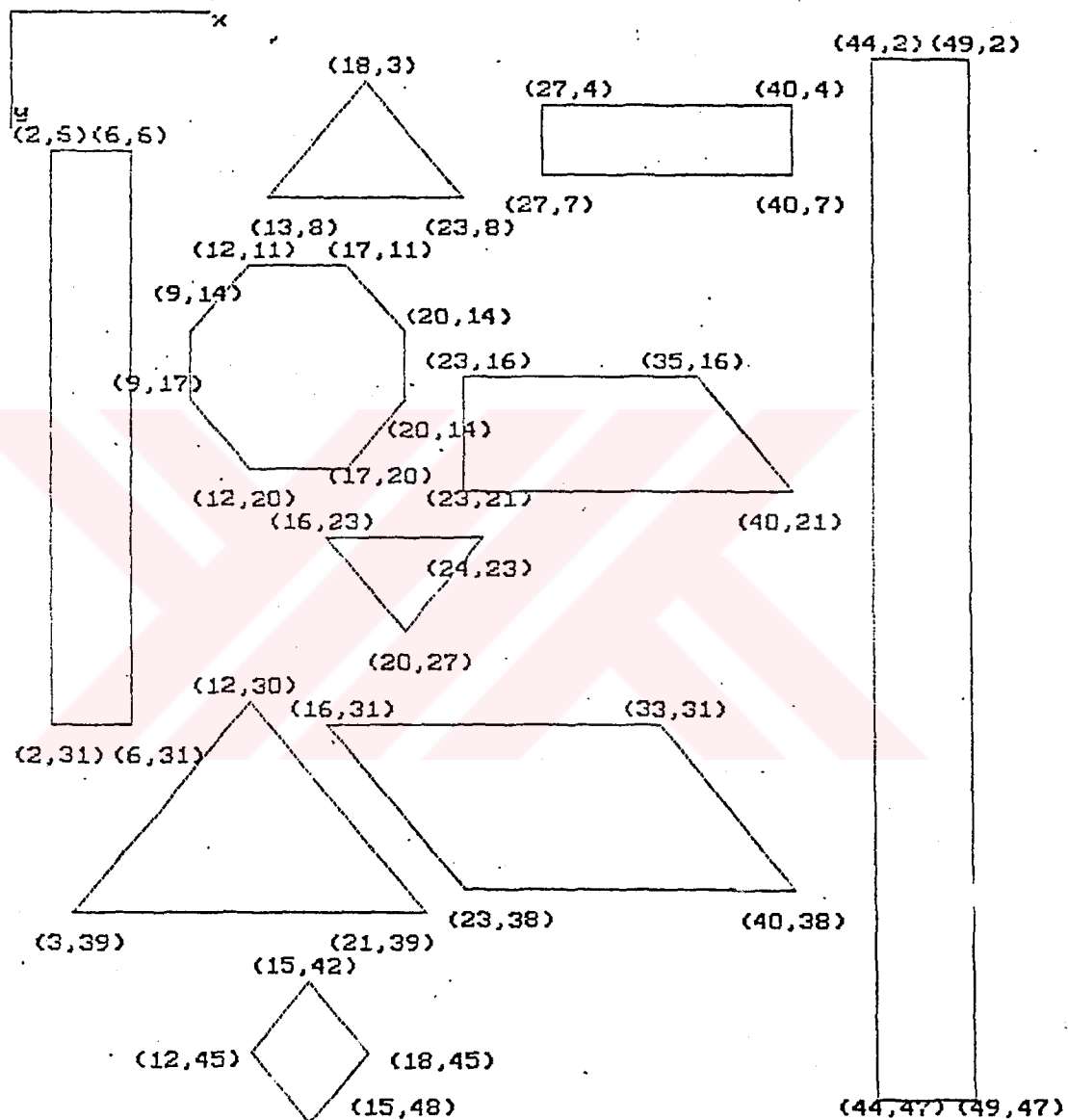
Gerçek dünyadaki 3B'lu cisme ait köşe noktaları bir kamera vasıtası ile algılandığından, iki boyutlu bir ortamda işleme uğratılmaktadırlar. Burada bize üçüncü boyut bilgisini sağlayacak ise, köşe noktalarının bir kapalı alan şeklinde sınırladığı alanlar içindeki parlaklık değişimlerinin farklı değerler almasıdır. Buna göre köşe noktalarının iki boyutlu ortamdaki ilişkileri ve alan parlaklık değerleri arasındaki ilişkilerin beraber yorumlanması ile de üçüncü boyut bilgileri elde edilir.

Cisim görüntüsü perspektif bir görüntü şeklinde alınmaktadır. Tanınacak cisimlere ait nitelik, ve belli bir konumsal durumda, ve belli bir açıda alınan görüntü bilgileri data belleğimizde bulunmaktadır. Bunların sonucunda farklı bir durumda alınan görüntü datalarının yorumlanması ve transformasyon işlemlerinin uygulanması sonucunda cisimlerin yaklaşık konumları belirlenebilmektedir.

55 ci sayfada iki boyutlu cisimlere ait deneysel sonuçlar verilmektedir. Buradaki iki boyutlu cisimleri kamera ekranında kapladığı piksel değerlerine göre, hangi piksel konumlarında yer aldığı ifade edilmektedir. Kamera konumunda kapladığı konum noktaları, kameranın cisme bakış açısı, ve diğer dönüşüm işlemleri sonucunda, cisimlerin kameranın bulunduğu konuma göre hangi koordinatlarda ne şekilde bir konum ifade ettiği elde edilebilmektedir.

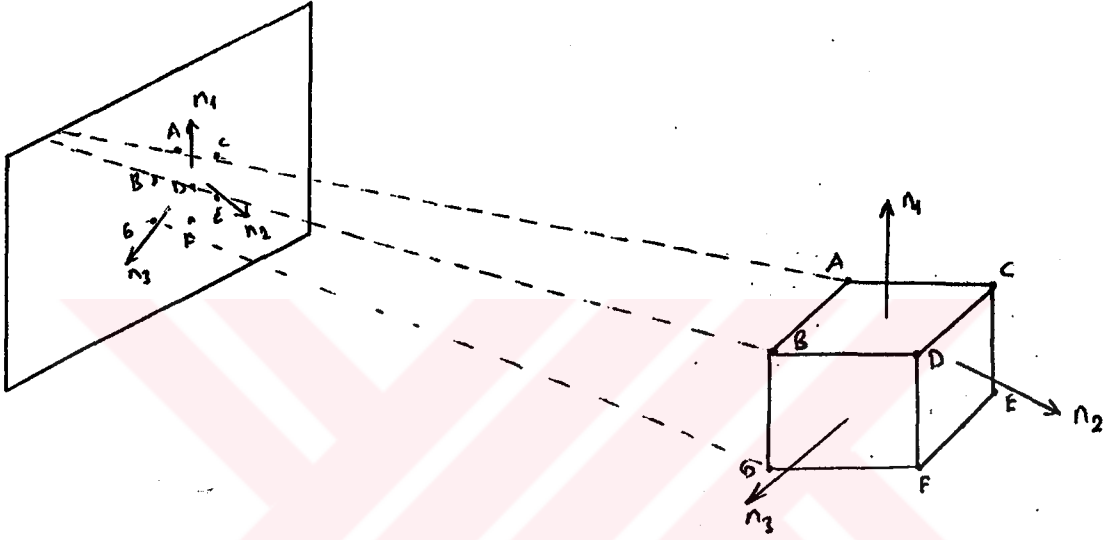
56 cı sayfada ise üç boyutlu cisimlere ait deneysel sonuçlar görülmektedir. Buradaki incelemede üç boyutlu cisimler, üç yüzlü, köşeli, ve düz kenarlı olan üç-boyutlu





cisimlerdir. Cisim köşe noktalarının birbiriyle olan sıralı ilişkisi, ve sıralı alanların içerdiği parlaklık değerlerine göre tanımlamalar gerçekleştirilmiştir.

3B'lu ortam, iki boyutlu ortama düşürüldüğünde uzaktaki bir nokta yakındaki bir noktaya göre, daha yukarı (iki boyutlu ekran ortamına göre) bir noktada konumlanması olduğundan, bu ilişkisel bilgi ve dönüşümlerle 3B'lu konum bilgileri elde edilebilir.



Sekil 6.7 3B'lu Cisimlerin iki boyutlu ortamda gösterimi

Sekil 6. 7 'de görüldüğü gibi, iki boyutlu ortama düşürülen 3B 'lu nitelikler, iki boyutlu nokta, ve noktaların sınırladığı alanlar arasındaki farklı parlaklık değerlerine göre 3B 'lu bilgiler elde edilmiş olur. Ayrıca konumlandırmada yardımcı olan yüzey normal bilgileride, iki boyutlu ortamlarda noktalar arasındaki yüzeylerin ters dönüşümlerden elde edilen dönüşümlerde göz önüne alınarak yüzey normalleri elde edilir. Bunun sonucunda yüzeylerin birbiriyle yapmış oldukları açılar da belirlenebilmektedir.

Bütün bu işlemlerin sonucunda gerçek dünyadaki 3B 'lu bir cisme ait datalar böylece iki boyutlu ortama dönüştürülmüş, ve bu datalar işlenerek 3B 'lu cisme ait konum bilgileri elde edilmiş olur.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1. GİRİŞ

Bu bölümde yapılan çalışmanın sonuçları tartışılmakta ve ayrıca bu çalışmanın devamı olabilecek daha genel amaçlı çalışmalara ait öneriler sunulmaktadır.

#### 7.2. SONUÇLAR

Bu tezde yapılan çalışma, robotik alanında, robot sistemlerine görme, tanıma, konumlandırma v.b. kabiliyetleri kazandırma amacıyla olduğundan, mümkün olduğu kadar robotik sistemlere en az donanım gerektirecek biçime gidilmek istenilmiştir. Tanınan cisimlerin konumlandırılması, robot sistemleri için amaçlandığından, görme ile elde edilen konumlandırmanın en son biçimi ( yani robotik tutma v.b. robot elinin cismi ve sıkıştırma biçimi ) robotik eldeki algılayıcılar ile gerçekleştirilir. İşlem hızı ise robotik alma, bırakma gibi işlemler için oldukça yeterli hızdadır.

Bu tez çalışmaları köşeli, kenarları düz ve üç yüzeyle, üç boyutlu cisimler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirilmede köşe noktaları ve bu noktalar arasındaki farklı parlaklık değerine sahip alanlar arasındaki kombinasyonel işlemler sonucunda gerçekleştirilmiştir.

#### 7.3. ÖNERİLER

Tanınacak cisimleri daha geniş çapta, yani cisimlerin köşeli ve düz olması gibi kısıtlamalar

kaldırılmış cisimlere uygulamak için bu işlemdeki köşe noktaları yerine kontrol noktaları tanımlamak daha doğru olacaktır. Bu kontrol noktalarını ise 4.4.2 ve 4.4.3 konularında anlatıldığı gibi B-spline eğrilerinden yararlanarak elde edileceği kanaatindeyiz. B-spline eğrilerinde, verilen bir kaç kontrol noktası ile herhangi bir eğri çizilebilmektedir. Bu işlemin tersi düşünüldüğünde, yani verilmiş bir eğriden bu eğriyi karakterize edecek kontrol noktaları elde edilirse, bu eğri elde edilen kontrol noktaları tarafından karakterize edilmiş olur. Ve bu eğrilerin sınırladığı alanlar içindeki parlaklık değerlerinin de incelenmesi sonucunda, benzer işlemlerin yapılarak, eğri kenarlı ve köşesiz cisimleri tanıma ve konumlandırma mümkün olabilir.





## KAYNAKLAR

- [1] Powers Jr J. H. , Computer-Automated Manufacturing, 1987, McGraw-Hill, New York, 1987
- [2] Taylor R. H. , Grossman D. D. , An Integrated Robot System Architecture, Proceeding of the IEEE, 71, 7(1983), 650-660
- [3] Togai M. , Japan's Next Generation of Robots, Computer, March 1984 IEEE
- [4] Snyder W. E. , Industrial Robot Computer Interfacing and Control, Prentice-Hall, Inc , Florida,1985
- [5] Yılmaz M. , Modülasyon Teorisi II, Ders notları K.T.Ü. Elektrik-Elektronik Müh. No:99, 1986
- [6] Adrain L. , Introductory Computer Vision and Image Processing, McGraw-Hill Book Company (UK), London, 1991
- [7] Jain A. K. , Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall International Editions, Florida, 1989
- [8] Schalkoff R. J. , Digital Image Processing and Computer Vision, by John Wiley & Sons. Inc. , London, 1989
- [9] Magee M. J. , Boyter B. A. , Chien C. C. , Aggarwall J. K. , Experiments in Intensity Guided Range Sensing Recognition of Three-Dimensional Objects, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel. PAMI-7, 1985, 629-637
- [10] Lie W. N. , Yu C. W. , Chen Y. C. , Model-Based Recognition and Positioning of Polyhedral Using Intensity-Guided Range Sensing and Interpretation in 3-D Space, IEEE, Pattern Recognition , 23, no. 9(1990) 983-997
- [11] Nitzan D. , Three-Dimensional Vision Structure for Robot Applications, IEEE Trans. on Pattern anal. and Machine Intelligence, 10, 3(1988), 642-649
- [12] Agapakis J. E. , Katz J. M. , Friedman J. M. , Epstein G. N. , Vision-Aided robotic Welding: An Approach and a Flexible Implementation, The International Journal of Robotics Research, 9, 5(1990), 1148-1152
- [13] Hall E. L. , Computer Image Processing And Recognition, Academic Press, Inc. New York, 1979.

- [14] Fogers D. F. , Adams J. A. , Mathematical Elements for Computer Graphics, McGraw-Hill Book Company, Florida, 1976.
- [15] Richard H. , Zakhor A. , An Edge-Based Block Matching Technique for Video Motion, SPIE vol. 1452 Image Processing Algorithms and Techniques II. 1991.



## ÖZGEÇMİŞ

12.12.1966 yılında İstanbul'da Usküdar ilçesinde doğan Murat Ekinci, ilk, orta ve lise eğitimlerini İstanbul'da tamamladı. 1986 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde yüksek öğrenimine başladı. 29 Haziran 1990 yılında Elektronik Mühendisi ünvanı ile mezun oldu, ve aynı yıl yüksek lisans öğrenimine başladı. Bir dönem Intermediate seviyesinden itibaren İngilizce hazırlık kursu gördü. Ve daha sonra yüksek lisans derslerini tamamladı. 1991 yılında altı ay süre ile PTT Aksaray Telefon Müdürlüğünde Transmisyon Mühendisi olarak çalıştı. Kasım 1991'de K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde araştırma görevlisi olarak atandı. Ekim 1992'de aynı üniversitenin Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Anabilim dalında araştırma görevliliğine atandı. Ve halen aynı görevi sürdürmektedir.