

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE İKİ BOYUTLU CİSİMLERDEN
GRAFİK MODELLER İÇİN VERİ ELDESİ**

Makine Müh. Kerem ASMAZ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan ALTAN

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. GÖRÜNTÜ İŞLEME	2
2.1 Görüntü İşlemenin Esasları	2
2.2 Görüntü İşleme Sisteminin Bileşenleri	12
2.3 Görüntü İşlemede Kullanılan Teknikler	14
2.3.1 Gölge Düzeltme	14
2.3.2 Görüntü İyileştirme ve Onarım Teknikleri	15
2.3.2.1 Keskinlik Filtresi	15
2.3.2.2 Kirlilik Giderme	15
2.3.2.3 Distorsiyon Giderme	16
2.3.3 Bölümleme	17
2.3.4 Eşikleme	17
2.3.5 Kenar Bulma	18
2.4 Vektörizasyon ve Görüntü İşleme	19
2.4.1 Vektörizasyon Metotları	19
2.4.1.1 Hough Dönüşüm Tabanlı Metotlar	19
2.4.1.2 İncelme Tabanlı Metotlar	20
2.4.1.3 Şekil Tabanlı Metotlar	23
2.4.1.4 Grafik Yürütme Tabanlı Metotlar	23
2.4.1.5 Ağ Desen Tabanlı Metotlar	24
2.4.1.6 Ayrık Piksel Tabanlı Metotlar	25
2.4.2 Vektörizasyon İçin Kullanılan Yazılımlar	27
2.5 Görüntü İşleme Uygulama Alanları	27
2.5.1 Görüntü İşlemede Gama Işınları	28
2.5.2 Görüntü İşlemede X-ışınları	29
2.5.3 Görünebilir ve Infrared Bantlarda Görüntü İşleme	30
2.5.4 Görüntü işlemenin Endüstriyel Uygulamaları	34
2.5.4.1 Tersine Mühendislik ve Görüntü İşleme	34
2.5.4.1.1 Tersine Mühendislik'te ölçüm ve sayısallaştırma uygulamalarında kullanılan	

cihazlar.....	35
2.5.4.1.1.1 Temaslı (Problu) Sistemler.....	35
2.5.4.1.1.2 Lazerli Sistemler.....	36
2.5.4.1.1.3 Kameralı Sistemler.....	39
2.5.4.1.2 Tersine Mühendislik İçin Kullanılan Yazılımlar.....	41
2.5.4.2 Kalite kontrol.....	49
2.5.4.2.1 Baskı Devre muayenesi.....	50
2.5.4.2.2 Yüzey Kontrolu.....	51
2.5.4.2.3 Montaj Kontrolu.....	52
2.5.4.2.4 X-Işın Teknikleri.....	52
2.5.4.3 Robotlar.....	53
2.5.4.4 Metroloji.....	55
2.5.4.5 Hassas Ölçme.....	60
2.5.4.6 Malzeme Akışı.....	60
2.5.4.7 Proses Kontrol.....	60
2.5.4.8 Otonom Araçlar.....	61
2.5.4.9 Emniyet Kontrolu.....	61
3. KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	62
4. UYGULAMALAR.....	83
4.1 Uygulama 1 (Baskı Sacının Dijital Görüntüsünden Veri Eldesi).....	83
4.1.1 İkili Siyah Beyaz (Binary) Görüntünün Elde Edilmesi.....	84
4.1.2 Görüntü İşleme Yöntemiyle Sınır Çizgisinin Bulunması.....	85
4.1.3 CAD Programıyla 2 Boyutlu Modelleme.....	87
4.1.4 Çözünürlüğü İki Kat Arttırılmış Görüntü İçin İşlemlerin Tekrarlanması.....	88
4.1.5 Vektörizasyon Uygulaması.....	89
4.2 Uygulama 2 (Dijital Kameradan Alınan Kilit Kapama Dişli Parçası Görüntüsünden Veri Eldesi).....	90
4.2.1 İkili Siyah Beyaz (Binary) Görüntünün Elde Edilmesi.....	91
4.2.2 Görüntü İşleme Yöntemiyle Sınır Çizgisinin Bulunması.....	92
4.2.3 CAD Programıyla 2 Boyutlu Modelleme.....	94
4.2.4 Çözünürlüğü İki Kat Arttırılmış Görüntü İçin İşlemlerin Tekrarlanması.....	95
4.2.5 Vektörizasyon Uygulaması.....	96
4.2.6 Boyut ölçümü.....	97
4.3 Uygulama 3 (Dijital Kameradan Alınan Bağlantı Elemanı Görüntüsünden Veri Eldesi).....	98
4.3.1 İkili Siyah Beyaz (Binary) Görüntünün Elde Edilmesi.....	99
4.3.2 Görüntü İşleme Yöntemiyle Sınır Çizgisinin Bulunması.....	100
4.3.3 CAD Programıyla 2 Boyutlu Modelleme.....	102
4.3.4 Çözünürlüğü İki Kat Arttırılmış Görüntü İçin İşlemlerin Tekrarlanması.....	103
4.3.5 Vektörizasyon Uygulaması.....	104
4.3.6 Boyut ölçümü.....	105
4.4 Uygulama 4 (Tarayıcıdan Alınan Bağlantı Elemanı Görüntüsünden Veri Eldesi)	106
4.4.1 İkili Siyah Beyaz (Binary) Görüntünün Elde Edilmesi.....	107
4.4.2 Görüntü İşleme Yöntemiyle Kenar Bulunması.....	107
4.4.3 CAD Programıyla 2 Boyutlu Modelleme.....	109
4.4.4 Çözünürlüğü İki Kat Arttırılmış Görüntü İçin İşlemlerin Tekrarlanması.....	110
4.4.5 Vektörizasyon Uygulaması.....	112
4.4.6 Boyut ölçümü.....	112

5.	SONUÇLAR.....	114
	KAYNAKLAR.....	116
	EKLER	119
	ÖZGEÇMİŞ.....	121

SİMGE LİSTESİ

β	Kameranın ortamı görüş açısı
f	Odak uzaklığı
D	Mercek çapı

KISALTMA LİSTESİ

CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPP	Computer Aided Process Planning
CCD	Charged Coupled Device
CSD	Constructive Solid Geometry
CMM	Coordinate Measuring Machine
CNC	Computer Numerical Control
CRT	Cathode Ray Tube
EGS	Extended Gaussian Surfaces
FDM	Fused Deposition Modelling
FMS	Flexible Manufacturing System
FTS	Flexible Transfer System
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
NC	Numerical Control
OCR	Optical character recognition
OZZ	Orthogonal Zig Zag
PCB	Printed Circuit Board
PSL	Primary Stitching Line
RGB	RedGreenBlue
SLS	Selective Laser Sintering
SMT	Surface Mounted
SNR	Signal to Noise Ratio
SSL	Secondary Stitching Line
STL	Standart Triangulated Language
UCS	User Coordinate System
VLSI	Very Large Scale Integration

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Bir fiziksel görüntü ve dijital karşılığı	2
Şekil 2.2	Bir görüntünün sayısallaştırılması	3
Şekil 2.3	Sürekli bir görüntünün sayısallaştırılmış hali $[m,n]$ gibi bir nokta sayısal olarak koordinat, parlaklık vs. değerlerle tanımlanmış	3
Şekil 2.4	Bir Dijital Görüntü İşleme Sistemi	4
Şekil 2.5	Görüntü Türleri	5
Şekil 2.6	Çeşitli Görüntü Operasyonlarının Örneklenmesi	8
Şekil 2.7	Dijital Görüntü İşleme Sırası	9
Şekil 2.8	Dijital Görüntü İşlemede Temel Adımlar	10
Şekil 2.9	Genel Amaçlı Bir Digital Görüntü İşleme Sisteminin Elementleri	13
Şekil 2.10	Laplacian Keskinlik Maskesi kullanılarak iyileştirilmiş bir görüntü ile orijinalinin karşılaştırılması	15
Şekil 2.11	Farklı teknikler kullanılarak yapılan kirlilik giderme operasyonlarının karşılaştırması	16
Şekil 2.12	Wiener ve medyan filtreleri kullanarak kirlilik ve bozukluk giderme	17
Şekil 2.13	Eşik Değerinin altında kalan bölgeler (pikseller) “obje” olarak , üstünde kalan kısımlar ise “arkaplan” olarak işaretlenecektir	18
Şekil 2.14	Sobel gradienti kullanılarak gerçekleştirilen kenar bulma operasyonu	18
Şekil 2.15	P pikseli ve onun 3x3 komşuluğu	20
Şekil 2.16	Kesişimlerdeki inceltme bozulmaları	21
Şekil 2.17	Uzaklık dönüşümünün temsili gösterimi. (a) Resim (b) Uzaklık dönüşümü (c) İskelet	22
Şekil 2.18	Paralel kenar tabanlı vektörizasyonun gösterimi (a) paralel kenarların orta noktası (b) yaklaşık paralel olan kenarların orta noktası (c) kaçırılmış kesişme (d) karıştırılmış kesişme	23
Şekil 2.19	Piksel olarak ifade edilen resimde, yürütme grafiklerinin temsili gösterimi	24
Şekil 2.20	Göz desen tabanlı çizgi çıkarma metodu. (a) görüntü ve gözler. (b) görüntünün iki merkezi gözünün, göz desen etiketleri ve kontrol haritası, (c) çizgiler kontrol haritasının analiz edilmesiyle çıkarılır	25
Şekil 2.21	Orthogonal Zig-Zag (OZZ) vektörizasyon algoritmasının prensibi	26
Şekil 2.22	Foton başına düşen enerjiye göre düzenlenmiş ElektroMagnetik (EM) spektrum	28
Şekil 2.23	İnsan iskeleti gamma tarama	29

Şekil 2.24	X-Işınlarıyla Görüntü İşleme Uygulama Örnekleri	30
Şekil 2.25	Işın Mikroskobu ile Görüntü İşleme Örnekleri.....	31
Şekil 2.26	Washington D.C uydu görüntüsü, LANDSAT uydusu	32
Şekil 2.27	Dijital Görüntü İşleme Tekniği Kullanılarak Ürünlerin Kontrolü Uygulamaları	32
Şekil 2.28	Görülebilir Sprektrumda Dijital Görüntü İşleme Tekniği Kullanımına Ek Örnekler	33
Şekil 2.29	Tersine Mühendislik Yöntemlerinin Sınıflandırılması	34
Şekil 2.30	Proflu Ölçüm Sistemi	35
Şekil 2.31	Çeşitli Problar	35
Şekil 2.32	Temaslı ölçmedeki genel sorunlar	36
Şekil 2.33	Parça CAD Verisi ile Ölçüm Verisinin Görüntüleri	37
Şekil 2.34	Parçanın Mesh Edilmiş Görüntüsü ve Renkli Doku Haritası	37
Şekil 2.35	Lazer Tarama Mekanizmasının Şematik Görünümü	38
Şekil 2.36	Lazer Sayısallaştırma Yöntemi	38
Şekil 2.37	Otomobil tasarımında kameralı tarama adımları	39
Şekil 2.38	Uçak tasarımında tarama yapılacak bölgelerin belirlenmesi	40
Şekil 2.39	Uçağın kameralı tarama sistemleriyle taranması	40
Şekil 2.40	Formula 1 pilotlarının kask tasarımı için kameralı tarama sistemleriyle taranması	40
Şekil 2.41	Bilgisayara verilerin aktarılması ve tasarımı	40
Şekil 2.42	Nokta bulutu olarak taranmış plastik bir jant kapağının 3D CAD modelinin oluşturulduktan sonra foto-gerçekçi görüntüsünün alınması.....	43
Şekil 2.43	Nokta bulutu olarak taranmış bir türbin çarkının nokta bulutundan tersine mühendislik ile 3D CAD verisinin elde edilmesi	44
Şekil 2.44	Nokta bulutu olarak taranmış bir yumurtalık kalıbının 3D CAD modelinin oluşturulması.....	44
Şekil 2.45	Nokta bulutu olarak taranmış bir malafanın 3D CAD modelinin oluşturulması	44
Şekil 2.46	Nokta bulutu olarak taranmış bir debriyaj kapağının 3D CAD modelinin oluşturulması.....	45
Şekil 2.47	Nokta bulutu olarak taranmış bir deterjan çekmece kutusunun kalıbının 3D CAD modelinin oluşturulması	45
Şekil 2.48	Nokta bulutu olarak taranmış bir yumurtalık kalıbının 3D CAD modelinin oluşturulması.....	45

Şekil 2.49	Nokta bulutu olarak taranmış bir sıvama sacın 3D CAD modelinin oluşturulması.....	46
Şekil 2.50	Nokta bulutu olarak taranmış jant kapağının 3D CAD modelinin oluşturulması.....	46
Şekil 2.51	Nokta bulutu olarak taranmış alternator kutusunun 3D CAD modelinin oluşturulması.....	46
Şekil 2.52	Nokta bulutu olarak taranmış bir vites kutusunun 3D CAD modelinin oluşturulması.....	47
Şekil 2.53	RapidForm’da Tersine Mühendislik Uygulaması Akış Şeması.....	48
Şekil 2.54	PCB muayene için ışıklandırma kullanımının avantajları	50
Şekil 2.55	Yüzey Muayenesi için Lazer tarayıcı	51
Şekil 2.56	AOI histogram değerlemesi kullanılarak montaj kontrolü	52
Şekil 2.57	X-ışın muayenesi ile yağ filtrelerinin montaj kontrolü.....	53
Şekil 2.58	Motor blokları yerleşimi için görüntü nitelikleri	54
Şekil 2.59	Görsel algılamalı 3-D koordinat ölçme cihazı	55
Şekil 2.60	Takım aşınma sensörünün optik düzeneği.....	56
Şekil 2.61	Sağlam kesici takıma ait ardışıl imge çerçeveleri.....	57
Şekil 2.62	Bozuk kesici takıma ait ardışıl imge çerçeveleri	57
Şekil 2.63	Şekil 2.61 için kenar bulma sonucu elde edilen imgeler	57
Şekil 2.64	Şekil 2.62 için kenar bulma sonucu elde edilen imgeler	58
Şekil 2.65	Örnek bir kesici takım imgesi ve kenarları	58
Şekil 2.66	İmgeden kesici takımın konumunun elde edilmesi.....	58
Şekil 2.67	Takımların kesici yüzeyleri.....	59
Şekil 2.68	Takımların kesici yüzeyleri.....	59
Şekil 2.69	Lazer kaynak işleminin izlenmesi için düzeneç	61
Şekil 2.70	Görüntü işleme ile robot hücrede güvenlik kontrolü	61
Şekil 3.1	Görüntüleme sistemi	62
Şekil 3.2	İki boyutlu nesnelerin üretimi için kurulan bilgisayarlı görme sistemi	63
Şekil 3.3	Görüntünün Belirlenmesi.....	63
Şekil 3.4	Geleneksel Tersine Mühendislik Yöntemi.....	64
Şekil 3.5	Görüntü Bilgisine Dayalı Tersine Mühendislik İşlemi.....	65
Şekil 3.6	Görüntü Bilgisine Dayalı Tersine Mühendislik İşlem Sisteminin Yapısı	66
Şekil 3.7	Tersine Mühendislik İşlem Aşamaları	68
Şekil 3.8	Prototip model.....	69
Şekil 3.9	Dijital kameradan çekilmiş görüntü.....	69

Şekil 3.10	Üç boyutlu katı model oluşumu.....	70
Şekil 3.11	Üç boyutlu görüntü için veri indirgenme ve ekstrapolasyon işlem	72
Şekil 3.12	a)Yüzey üzerine alınan örneklerle teğet plakalar yerleştirilmesiyle oluşturulan model b)Yüzeye teğet model	73
Şekil 3.13	Plakalar yöntemi kullanılarak gerçek görüntülerden elde edilmiş yüzey. Solda girdi kullanılan görüntü, sağda ise bu görüntülerden elde edilmiş yüzey modeli görünmektedir	73
Şekil 3.14	Birim İmalat Hücresi.....	75
Şekil 3.15	Görüntüleme Sistemi	76
Şekil 3.16	Görüntüleme Sistemi	79
Şekil 3.17	Türbin kanadının görüntüsü ve ölçülen veriler	80
Şekil 3.18	Silindirik nesnenin 5 görünümlü verisinin bileşimi.....	81
Şekil 3.19	Sinirsel Ağ Sistemi Örneği Sistemi	82
Şekil 4.1	Görüntü yakalama sistemi.....	83
Şekil 4.2	Baskı Sacı.....	83
Şekil 4.3	Baskı sacı görüntüsünün Matlab penceresindeki görüntü bilgisi	84
Şekil 4.4	Binary görüntünün Matlab penceresindeki görünüşü	84
Şekil 4.5	Baskı sacının matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü.....	85
Şekil 4.6	Kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü.....	86
Şekil 4.7	MASTERCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde gösterimi.....	87
Şekil 4.8	Kapalı bir spline eğrisi olarak gösterimi.....	87
Şekil 4.9	Çözünürlüğü iki kat arttırılmış Baskı sacının matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü	88
Şekil 4.10	Kenar bulma işlemi tamamlanmış çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü.....	88
Şekil 4.11	MASTERCAM penceresinde çözünürlüğü arttırılmış görüntünün gösterimi ..	89
Şekil 4.12	Vektörizasyon uygulaması.....	89
Şekil 4.13	2.Uygulama parçası.....	90
Şekil 4.14	Uygulama 2 görüntüsünün Matlab penceresindeki görüntü bilgisi	90
Şekil 4.15	Binary görüntünün Matlab penceresindeki görünüşü	91
Şekil 4.16	Uygulama 2'nin Matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü.....	92
Şekil 4.17	Kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab	

	penceresindeki görünüşü.....	93
Şekil 4.18	MASTERCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde gösterimi.....	94
Şekil 4.19	Kapalı bir spline eğrisi olarak gösterimi.....	94
Şekil 4.20	Çözünürlüğü iki kat arttırılmış uygulama 2 görüntüsünün matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü.....	95
Şekil 4.21	Kenar bulma işlemi tamamlanmış çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü.....	95
Şekil 4.22	MASTERCAM penceresinde çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün nokta bulutu şeklinde gösterimi.....	96
Şekil 4.23	Vektörizasyon uygulaması.....	96
Şekil 4.24	Oranlama için kullanılan parçanın temsili görüntüsü ve boyutları.....	97
Şekil 4.25	İki boyutlu CAD modelin boyutlandırılması.....	97
Şekil 4.26	3.Uygulama parçası.....	98
Şekil 4.27	Uygulama 3 görüntüsünün Matlab penceresindeki görüntü bilgisi.....	98
Şekil 4.28	Binary görüntünün Matlab penceresindeki görünüşü.....	99
Şekil 4.29	Uygulama 3'ün Matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü.....	100
Şekil 4.30	Kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü.....	101
Şekil 4.31	Uygulama 3'ün MasterCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde gösterimi.....	102
Şekil 4.32	Kapalı bir spline eğrisi olarak gösterimi.....	102
Şekil 4.33	Çözünürlüğü iki kat arttırılmış uygulama 2 görüntüsünün matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü.....	103
Şekil 4.34	Kenar bulma işlemi tamamlanmış çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü.....	103
Şekil 4.35	MASTERCAM penceresinde çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün nokta bulutu şeklinde gösterimi.....	104
Şekil 4.36	Vektörizasyon uygulaması.....	104
Şekil 4.37	Oranlama için kullanılan parçanın temsili görüntüsü ve boyutları.....	105
Şekil 4.38	İki boyutlu CAD modelin boyutlandırılması.....	105
Şekil 4.39	4.Uygulama parçası.....	106
Şekil 4.40	Uygulama 4 görüntüsünün Matlab penceresindeki görüntü bilgisi.....	106
Şekil 4.41	Binary görüntünün Matlab penceresindeki görünüşü.....	107
Şekil 4.42	Uygulama 4'ün Matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü.....	108

Şekil 4.43	Kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü.....	108
Şekil 4.44	Uygulama 4'ün MasterCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde gösterimi .	109
Şekil 4.45	Kapalı bir spline eğrisi olarak gösterimi.....	110
Şekil 4.46	Çözünürlüğü iki kat arttırılmış uygulama 2 görüntüsünün matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü.....	110
Şekil 4.47	Kenar bulma işlemi tamamlanmış çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü.....	111
Şekil 4.48	MASTERCAM penceresinde çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün nokta bulutu şeklinde gösterimi.....	111
Şekil 4.49	Vektörizasyon uygulaması.....	112
Şekil 4.50	Oranlama için kullanılan parçanın temsili görüntüsü ve boyutları.....	113
Şekil 4.51	İki boyutlu CAD modelin boyutlandırılması	113

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1. Uygulanan görüntü işlemleri sırası.....	78
--	----

ÖNSÖZ

“Görüntü İşleme İle İki Boyutlu Cisimlerden Grafik Modeller İçin Veri Eldesi” konulu tez çalışmamı verimli bir şekilde sonuçlandırmamda bilimsel desteği ve çok değerli görüşleriyle her aşamada bana yol gösteren danışmanım Sn. Prof. Dr. Erhan ALTAN’ a müteşekkirim.

Çalışmalarımın başlangıcından bugüne değin her zaman sabır ve anlayışlarını esirgemeyerek yanımda olan aileme ve böyle bir faydalı eserin ortaya çıkmasında katkıda bulunan tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle gelişen bilgisayar donanımları ve yazılımları sayesinde görüntü işleme ile yapılan çalışmalar ve bu konuya olan ilgi artmıştır. Bununla birlikte günlük hayatta görüntü işleme tekniklerinden nasıl yararlanacağı araştırılmaya başlanmıştır. Görüntü işleme teknolojisi tıp, güvenlik, üretim, bilim, alanlarında yenilikler ve kolaylıklar sağlamaktadır.

Görüntü işleme bir görüntünün dijital formata dönüştürülmesi ve bilgisayarda işlenmesi konularını içerir. Bu çalışmada öncelikle görüntü işleme yöntemlerine değinilmiş daha sonra uygulama alanlarından bahsedilmiştir. Konu ile ilgili yapılmış olan önemli araştırmalara çalışma içinde yer verilmiş olup çalışmanın asıl amacı görüntü işleme ile iki boyutlu cisimlerden grafik modeller için veri elde etmektir.

Bu çalışmada yapılan uygulamalardan iki tanesinde iki boyutlu numunenin yüzey verilerini elde etmek için dijital fotoğraf makinasıyla görüntü alınmıştır. Diğer uygulamalarda dijital görüntü ve tarayıcıdan elde edilen görüntü kullanılmıştır. Bu raster görüntülerin MATLAB yazılımında hazırlanan bir program yardımıyla sınır çizgileri bulunmuş; sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatları elde edilmiştir. Daha sonra burada elde edilen veriler MASTERCAM tasarım yazılımına gönderilerek nesnenin aynı modelinin elde edilmesi çalışılmaktadır. Raster görüntüler ArtCAM Insignia Demo programına aktarılıp vektörizasyon uygulaması yapılmıştır. Bu yöntemle elde edilen model ile gerçek parçanın boyut bilgileri karşılaştırılmış, yöntemin avantajlı ve dezavantajlı yönleri irdelenmiştir.

Sonuç olarak bu yöntem iki boyutlu parçaların tanımlanmasında, sınırların çıkarılmasında ve boyut ölçümünde kullanılır.

Anahtar Kelimeler: Sayısal Görüntü İşleme (DIP), Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)

ABSTRACT

There is an increasing interest and studying in image processing due to the developments in computer hardwares and softwares. At the same time, studies for taking advantages of image processing technique in daily life has started. The techniques of image processing provide innovation and simplicity in medicine, security, manufacturing and in science.

Image processing is the transformation of an image to digital format and processing in computer. This article firstly touches upon methods of image processing and secondly discourse about the application area. Major research studies about the topic is included, however this article mainly focuses on obtaining digital data from 2D objects with image processing.

In the two applications of this study, images of a 2D object have been taken by a digital camera in order to obtain the surface data. In the other applications digital image and images taken from scanner have been used. These raster images' borderlines and borderline pixels' coordinates in the coordinate system (x,y) were obtained by a program that has been written in MATLAB software. Next step was obtaining the 2D objects computer model using the MASTERCAM software. Raster images were transformed to the ArtCAM Insignia Demo software, and vectorized. The computer model obtained with this method has been compared with the real dimension of the object. Advantages and disadvantages of this method were examined.

In conclusion, this method can be used in obtaining the computer model, borderlines and dimensions of 2D objects.

Keywords: Digital Image Processing (DIP), Computer Aided Design (CAD)

1. GİRİŞ

Dijital görüntü işleme, görüntünün bilgisayar yardımıyla işlenmesi insanın eski görsel istekleriyle karşılaştırıldığında yeni bir gelişme olarak nitelendirilebilir. Konunun kısa tarihi boyunca, görüntü işleme teknikleri, her tür imgeye değişen başarı oranlarında pratik olarak uygulanmıştır.

Tüm diğer çok disiplinli bilim alanlarında olduğu gibi, görüntü işleme de yanlış anlamalar, konsept kaybı, yanlış bilgi gibi sorunları yaşamaktadır. Optik, elektronik, matematik, fotoğraf bilimi, bilgisayar teknolojisini içinde barındıran oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Görüntü işleme, birçok bilim alanının kesin olmayan çelişkili kavramlarından etkilenen bir kavramdır.

Bu alandaki birçok faktör sürekli gelişmeye işaret etmektedir. Bunların ana sebeplerden birisi, gerekli bilgisayar ekipmanlarının fiyatlarının düşmesidir. Her geçen yıl gerekli olan işleme üniteleri daha da ucuzlamaktadır. İkinci bir faktör de imajların sayısallaştırılması ve görüntülenmesi için gerekli donanım seçeneklerinin artmasıdır. Belirtiler, gerekli olan bilgisayar donanımlarının fiyatlarının düşmeye devam edeceğini göstermektedir. Birçok yeni teknoloji bu alanda yapılan çalışmaların genişlemesine olanak sağlayacak şekilde gelişmektedir. Mikro işlemciler, sayısallaştırma için kullanılan CCD ler, yeni bellek teknolojileri ve yüksek çözünürlüklü görüntü sistemleri vb.

Gelişimdeki diğer bir hızlanma yeni uygulamaların sürekli olarak devam etmesinden kaynaklanmaktadır. Dijital görüntülemenin, reklam, endüstriyel, medikal ve bilimsel araştırma alanlarından kullanımları büyümeye devam etmektedir. Donanım masraflarının önemli ölçüde azaltılması ve önemli uygulamaların yapılabilmesi gelecekte görüntü işleme tekniklerinin önemli bir rol oynayacağını göstermektedir.

Bu çalışmada önce görüntü işleme yöntemleri ve uygulama alanları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde görüntü işleme ile grafik veri elde edilmesi ile ilgili yapılmış araştırmalar açıklanmıştır. Sonraki bölümde dijital görüntüler ve endüstriyel parçaların iki boyutlu tasarımının MATLAB ve MASTERCAM programları kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalar yapılırken bir vektörizasyon uygulamasından da bahsedilmiştir. Son bölümde orijinal parça ile programlar yardımıyla elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

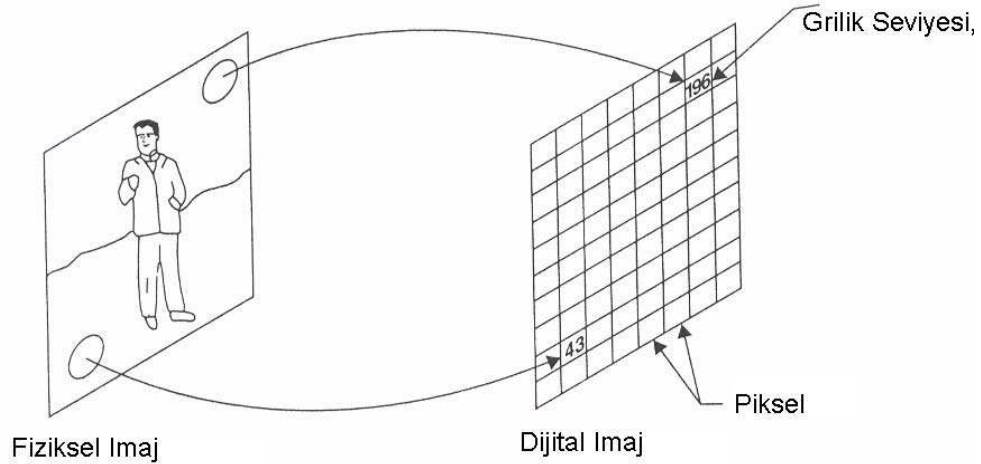
2. GÖRÜNTÜ İŞLEME

2.1 Görüntü İşlemenin Esasları

En basit anlatımıyla, görüntü işleme, görüntüleri işleyebilmek için gerekli bir bilgisayara ve iki önemli girdi çıktı donanımına ihtiyaç duymaktadır; görüntü sayısallaştırıcısı ve görüntüleme cihazı.

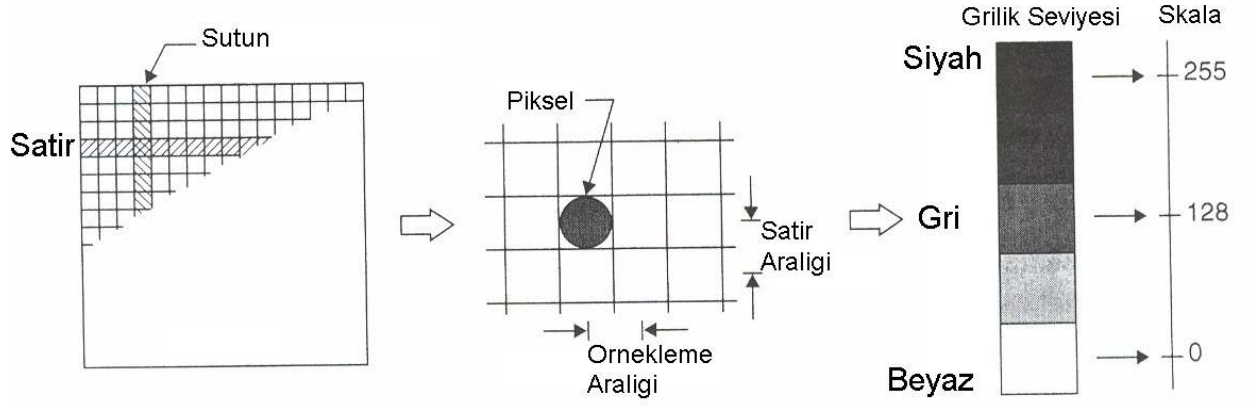
Bu cihazların doğal yapılarından dolayı, imajlar bilgisayar analizleri için direk bir kaynak olamamaktadırlar. Bilgisayarlar görüntü verileri ile değil de sayısal değerlerle çalıştıklarından, işleme başlamadan önce görüntü sayısal bir forma dönüştürülmelidir.

Şekil 2.1 dörtgen sıralı sayıların bir fiziksel imajı nasıl temsil edebileceğini göstermektedir. Fiziksel görüntü, resim elementleri ya da “piksel” denen küçük bölgelere bölünmüştür. En yaygın alt bölümlenme şeması olan dörtgen örnekleme kafes sistemi Şekil 2.1 de gösterilmiştir. Dijital görüntüde, her piksele yerleştirilen sayı, o noktadaki parlaklığı yansıtmaktadır.

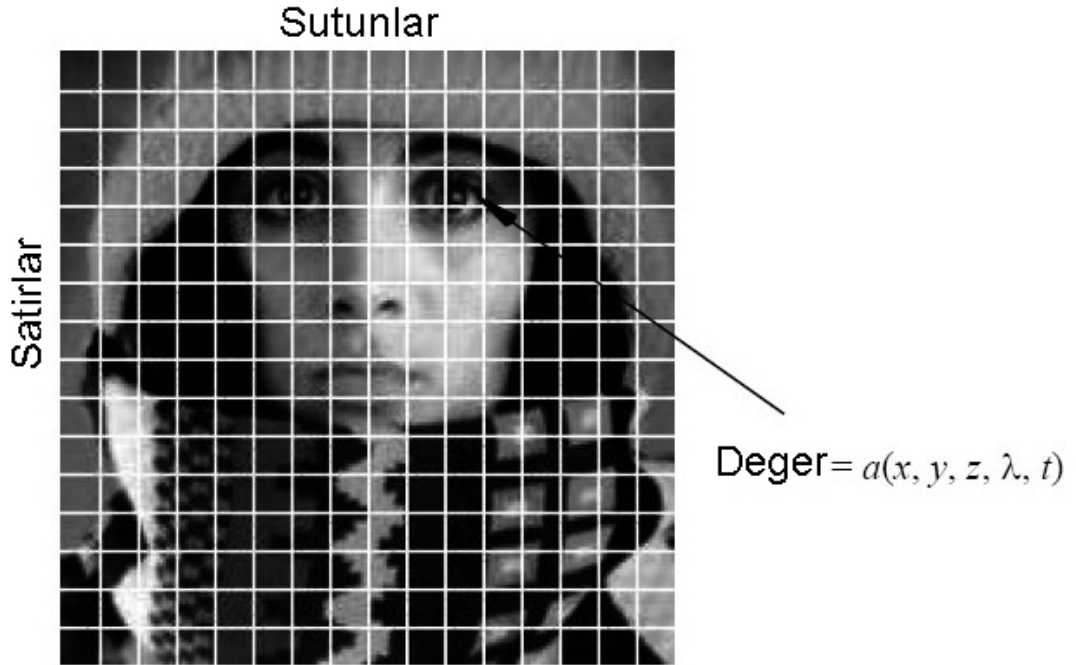


Şekil 2.1 Bir fiziksel görüntü ve dijital karşılığı (Castleman., 1996)

Dönüştürme işlemi sayısallaştırma olarak adlandırılır. Şekil 2.2 de genel bir form gösterilmiştir. Her piksel için görüntünün parlaklığı örneklenir ve sayısal olarak değerlendirilir. İşlemin bu adımı, her piksel için o noktadaki parlaklık ya da karanlığı simgeler. Bu işlem tüm pikseller için gerçekleştirildiğinde görüntü dörtgen sıralı bir şekilde gösterilmiş olur. Her piksel, tam bir konum ya da adrese (satır ve sütun numarasıyla) ve grilik seviyesi denen tam bir değere sahiptir. Bu sıralı dijital veri şu anda bilgisayarda işlenmek için uygun bir hale gelmiştir. (Castleman., 1996)

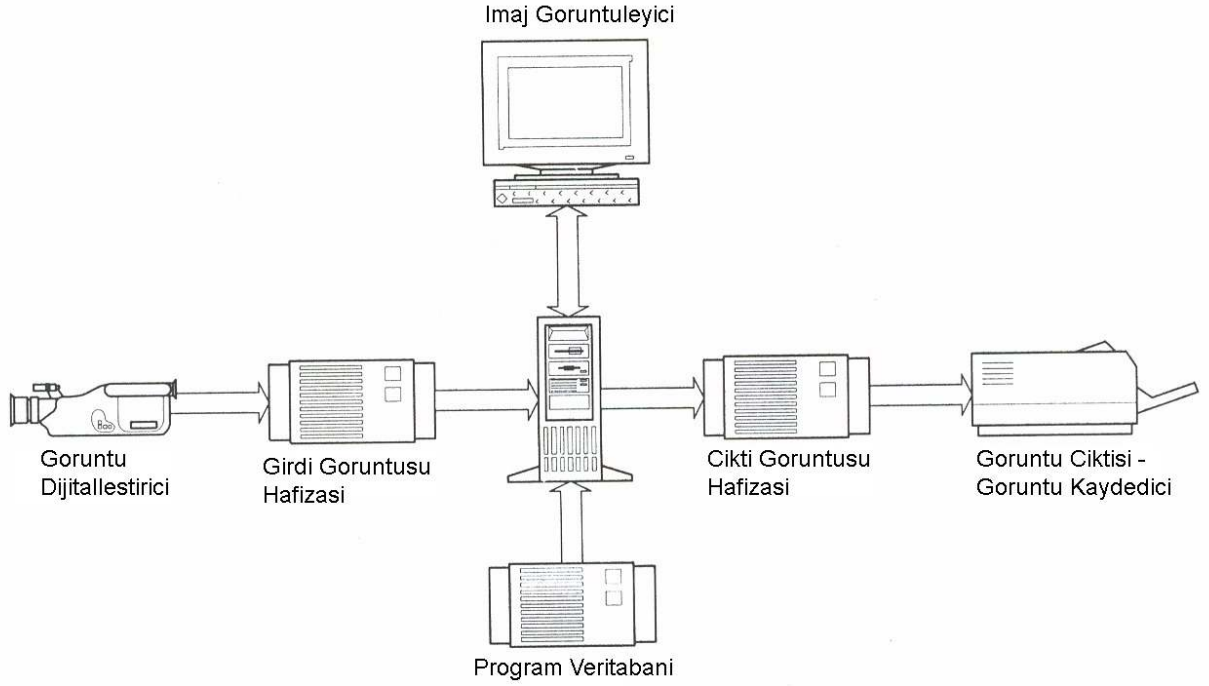


Şekil 2.2 Bir görüntünün sayısallaştırılması (Castleman., 1996)



Şekil 2.3 Sürekli bir görüntünün sayısallaştırılmış hali. $[m,n]$ gibi bir nokta sayısal olarak koordinat, parlaklık vs. değerlerle tanımlanmış (Young vd., 1998)

Şekil 2.4 görüntü işleme sistemi için gerekli komple bir sistemi göstermektedir. Sayısallaştırıcıdan elde edilen dijital görüntü, geçici bir hafızada saklanır. Operatörün direktifiyle, bilgisayar kütüphaneden gerekli programı çağırır ve görüntü işlemeyi başlatır. Uygulama sırasında, görüntü bilgisayar tarafından satır satır okunarak alınır. Bir veya daha fazla satır üzerinde oynama yapılarak bir son görüntü elde edilir ve çıktı görüntüsü bir görüntü kaydediciye satır satır kaydedilir. (Castleman., 1996)



Şekil 2.4 Bir Dijital Görüntü İşleme Sistemi(Castleman., 1996)

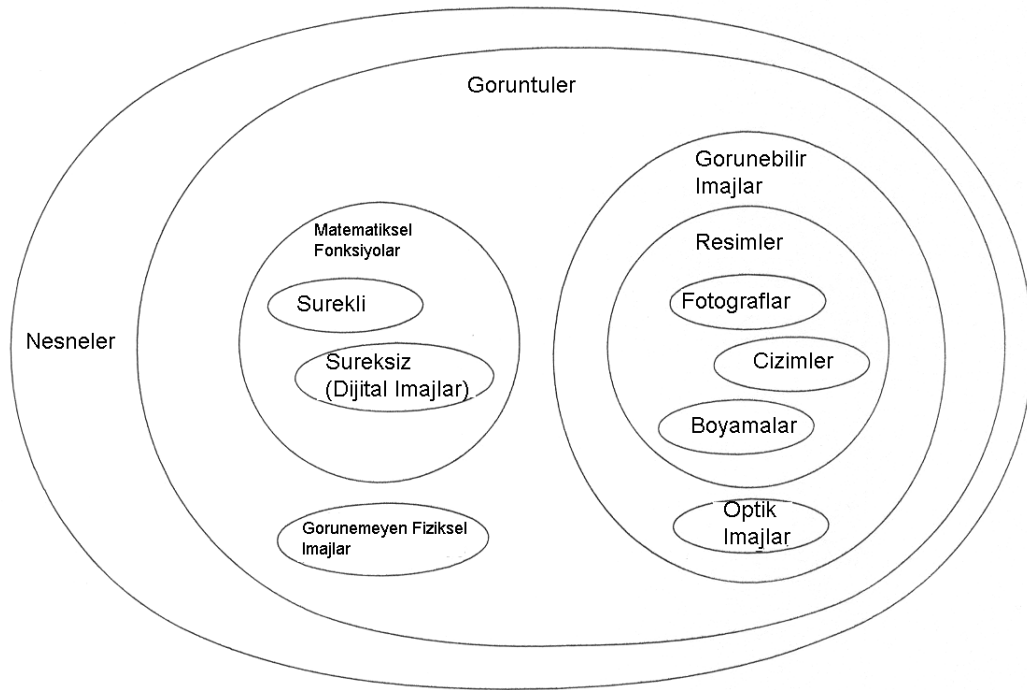
İşleme sırasında pikseller programcı tarafından değiştirilebilir. Proses adımları sadece ve sadece programcının sabrı ve işleme bütçesiyle sınırlıdır. İşlemeden sonra, son ürün tersine sayısallaştırma denilen bir prosesle görüntülenir. Her piksele ait grilik seviyesi görüntü ekranında alakalı noktanın parlaklığını göstermek için kullanılır. İşlenen imaj artık görünebilir ve insan yorumuna açık hale gelmiştir.

İmajlar çeşitli formlarda meydana gelirler, bazıları görünür bazıları değildir, bazıları soyut bazıları fiziksel, bazıları bilgisayar analizlerine uygun bazıları değildir. Bu sebeple çok farklı görüntü türlerinin bulunduğu farkında olmak oldukça önemlidir. Bu kavramdaki en ufak bir dikkatsizlik özellikle; “bir görüntü nedir” sorusunun cevabında farklı konseptte sahip insanların, görüntüler hakkında fikir alışverişinde bulunmasında belirgin karmaşalara sebep olabilir.

Görüntü işleme tekniğini tanımlamadan önce, “görüntü” kelimesinin tanımı konusunda hemfikir olmak gerekmektedir. Çoğu insanın “bir görüntü nedir” sorusuna bir yaklaşımı mevcutken, kesin bir tanım koymak mümkün olmamaktadır. Sözlük anlamına bakılacak olursa; (1) temsil etme, benzeri, bir nesnenin veya bir şeyin örneği, (2) bir nesnenin grafik tanımlaması, (3) bir şeyin tanımlanması için tanımlanan şey; gibi tanımlar görülmektedir. Bu nedenle genel olarak, bir görüntü bir başka şeyin temsidir diyebiliriz. Örneğin, Abraham

Lincoln ün fotoğrafı, Amerika başkanının temsili bir görüntüsüdür. Bir görüntü, temsil ettiği obje hakkında tanımlayıcı bilgileri içermektedir. Bir fotoğraf, ona bakan kişinin fotoğraftaki nesneyi görüntüsel olarak algılayabilmesi için gerekli bilgiyi içermektedir.

Görüntüler formlarına veya oluşturulma biçimlerine göre farklı tiplere sınıflandırılabilirler (Şekil 2.5). Tüm nesneleri düşünecek olursak, görüntüler bu grubun içinde bir alt grup oluşturmaktadır. Görüntü alt grubunun içinde en önemli alt grubu oluşturan ve gözle algılanabilen görünebilir görüntüleri kapsayan bir alt grup bulunur. Bu görünebilir görüntülerin altında da yine oluşum şekillerine göre farklılık gösteren birçok görüntü alt grupları (fotoğraflar, çizimler, boyamalar) bulunmaktadır. Diğer bir alt grup da lensler, hologramlarla elde edilen optik görüntüleri içermektedir. (Castleman., 1996)



Şekil 2.5 Görüntü Türleri (Castleman., 1996)

Fiziksel görüntüler madde veya enerjinin gerçek dağılımlarıdır. Örneğin, optik görüntüler, ışık yoğunluğunun uzaydaki dağılımlarıdır. Bunlar insan gözüyle görülebilir ve bu nedenle görülebilir görüntüler sınıfındadırlar. Görülemeyen fiziksel görüntüler için örnek vermek gerekirse; ısı, basınç, rakım, nüfus yoğunluğu haritaları verilebilir. Fiziksel görüntülerin bir alt grubu da çok dağılımlı görüntülerdir, bunlar her noktada birden fazla lokal özellik tanımlı görüntülerdir. Buna bir örnek olarak RedGreenBlue (RGB) görüntü örnek verilebilir (televizyon veya fotoğraflarda üretilen görüntü). Siyah beyaz bir fotoğraf her pikselde tek bir parlaklık değerine sahipken, RGB bir görüntü de her piksel kırmızı yeşil ve mavinin bir

tonuna sahiptir. Bu üç renk değişkeni farklı yoğunluklarda biraraya gelerek gözün farklı renkler algılamasını sağlarlar.

Başka bir görüntü alt grubu da matematiksel soyut görüntüleri kapsamaktadır. Bu grup sürekli ve süreksiz fonksiyonlar ile dijital görüntüleri kapsar. Sadece dijital görüntüler bilgisayar tarafından işlenebilmektedir.

Bu tanımlarla birlikte dijital görüntü işlemeyi; bir görüntünün sayısal ifadesinin belirli operasyonlardan geçirilerek elde edilmesi istenen bir sonuca yaklaşılması olarak tanımlayabiliriz. Bir resim örneğini alacak olursak yapılan görüntü işleme operasyonları resmi daha beğenilir veya çekici hale dönüştürebilir.

Bir görüntü genel olarak temsil ettiği nesnenin özelliklerinin özetidir. Bu durumda normal olarak, görüntü gerçek nesneden daha az bilgi içermektedir denebilir ve bu sebeple bir görüntü tam değildir veya temsil ettiği resmin aynısı değildir denebilir.

Dijital görüntü işleme tekniği bir tek görüntüyle başlar ve bu görüntünün modifiye edilmiş bir versiyonunu üretir. Sonuç olarak bu işlem bir görüntünün başka bir görüntüye değiştirilmesi prosesidir.

Bilgisayar grafikleri, katı cisimler yerine kavramsal olarak var olan veya matematiksel tanımlamaların görüntülenmesi ve işlenmesiyle ilgilenir. Bilgisayar grafikleri aynı zamanda dijital görüntü sistemlerini artistik gösterim için kullanan bilgisayarlı sanatı da içermektedir.

Bilgisayarlı görüş, doğal görüntülerin içeriğinin tercümesini yapabilen gelişen sistemlerle alakalıdır. Robot alanında, bilgisayarlı görüş robotun gözlerini destekler.

Daha geniş bir skalada, dijital görüntüleme terimini bilgisayarla alakalı görüntü verilerini kapsayan tüm kavramlar için kullanıyoruz. Bu, bilgisayarlı grafik, bilgisayarlı görüş, dijital görüntü işleme ve analizlerinin tamamını kapsamaktadır.

Sayısallaştırma, bir görüntünün orjinal formundan dijital forma dönüştürülmesi işlemidir. Dönüştürme kelimesi aslında bir yok etme işlemini içermemektedir çünkü orjinal görüntü kaybolmamaktadır. Aksine, dijital görüntünün oluşturulmasında rehber olarak kullanılmaktadır. Bunun tersi olan işlem; “görüntüleme” operasyonu ise, dijital bir görüntüden görülebilir bir imaj elde etme işlemidir. Görüntüleme “display” işlemi için sıkça kullanılan eşdeğer sözcükler; playback, image reconstruction, hardcopy ve imagerecording tir. Bu işlemde de bir yoketme durumu söz konusu değildir. Çünkü dijital bir imajın görüntülenmesi dijital verinin kaybolması anlamına gelmemektedir.

“Tarama” sözcüğünü bir imajın bir bölgesinin spesifik lokasyonlarıyla adreslenmesi olarak tanımlayabiliriz. Tarama işlemiyle adreslenen her küçük altbölge resim elementi piksel olarak adlandırılır. Fotografik imajların sayısallaştırılmasında tarama işlemi, film üzerindeki küçük noktaların sıralı adreslenmesi olarak verilir. Bu işlemde tarama, sayısallaştırma ile eşdeğer anlam kazanmıştır.

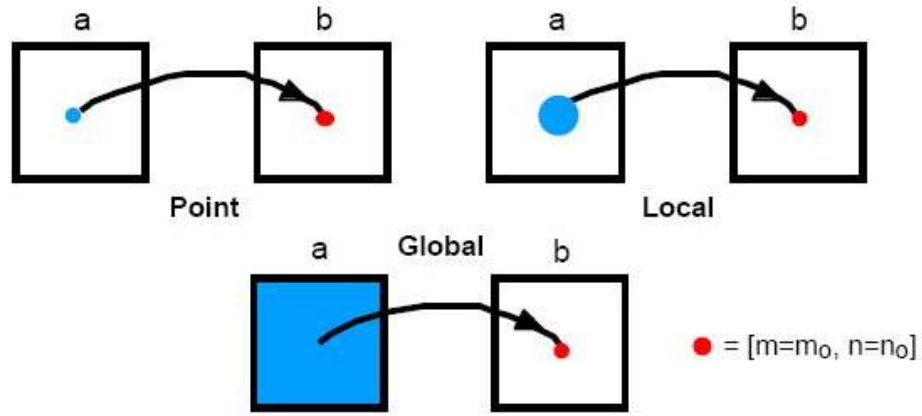
Örnekleme; bir imajın her pikselinin grilik seviyesinin ölçülmesi olarak tanımlanır. Örnekleme işlemi genellikle bir imajdaki her pikseldeki ışık yoğunluğuna göre orantılı bir voltaj oluşturan bir imaj-duyarlı cihaz tarafından gerçekleştirilir.

Niceleme işlemi, ölçülen bir değer bir tam sayı ile gösterilmesi işlemidir. Dijital bilgisayarlar sayıları işlediklerinden, sürekli ölçü değerlerini süreksiz ünitelere küçültmek ve tamsayılarla ifade etmek gerekmektedir. İmaj sensörünü genellikle bir analog-dijital çevirici takip eder. Bu çevirici voltaj değerlerini orantılı olarak sayısal değerlere çeviren bir elektronik devredir.

Tarama, örnekleme ve niceleme adımları bir imajın nümerik olarak gösterilmesi için gerekli ve yeterli adımlardır ve sayısallaştırmanın adımlarını oluştururlar. Bunun tersi bir dijital imajın görüntülenmesi için kullanılır. İmajları dijital ve sonra tekrar görünebilir hale çevirebilme yeteneği sayesinde artık, dijital işleme adımları tanımlanabilir ve uygulanabilir olmakta ve sonuçlar gözlemlenebilmektedir.

Bir işlem, bir girdi görüntüsünden bir çıktı görüntüsü elde ettiği zaman, iki görüntü arasında ve iki nokta arasında benzerlik bulunmalıdır. Çıktı görüntüsündeki her piksel girdi görüntüsündeki bir pikselle benzeşmelidir. Böylelikle, girdi görüntüsünde bir piksele uygulanan bir değişiklikle elde edilen grilik seviyesi değeri çıktı görüntüsündeki eş piksele kaydedilir.

Dijital imajlara uygulanan operasyonlar farklı sınıflara ayrılırlar. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6 Çeşitli Görüntü Operasyonlarının Örneklenmesi (Young vd., 1998)

Eğer bir operasyon tüm dijital imaja aynı anda eşit olarak uygulanıyorsa buna “global” operasyon denmektedir. Bir “piksel operasyonu” nda çıktı görüntüsündeki pikselin değeri sadece girdi görüntüsündeki eş pikselde yapılan değişikliğe bağlıdır. Noktasal operasyonlar bazen kontrast işleme veya kontrast düzeltme işlemleri olarak adlandırılırlar. “Lokal” bir operasyon, çıktı görüntüsündeki bir pikselin değerinin, girdi görüntüsündeki eş piksel ve çevresindeki birçok komşu pikselde yapılan grilik değerlerinden hesap edildiği işlemlerdir.

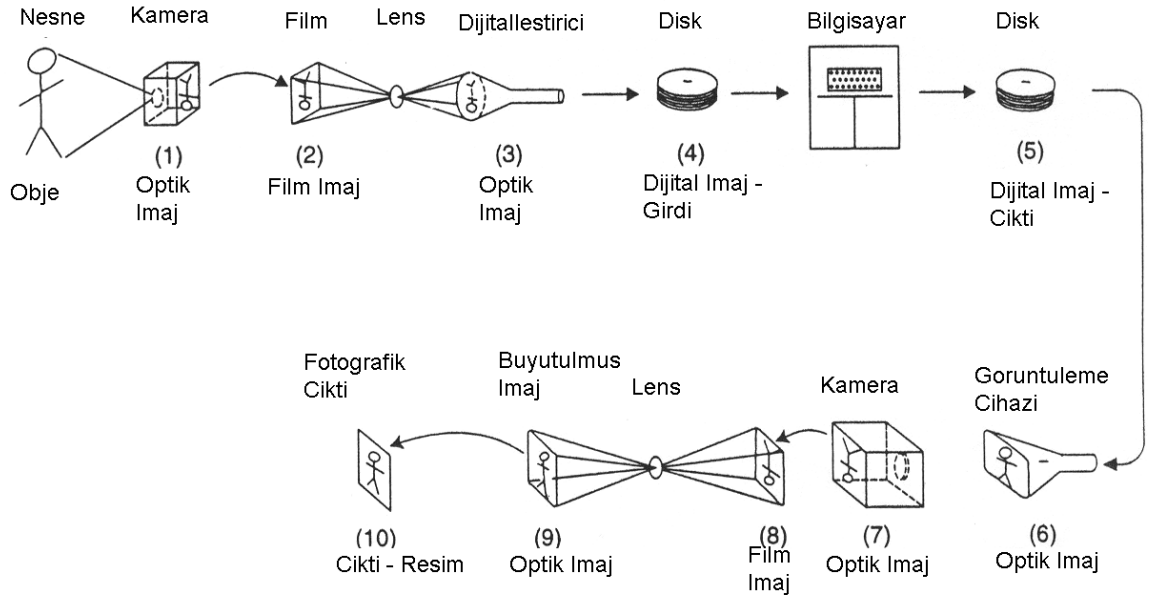
Kontrast kavramı bir görüntü içindeki grilik seviyesi farklarının genliğini ifade etmektedir. Kirlilik (noise), geniş olarak görüntünün kirliliği olarak tanımlanabilir.

Bir imajın örnekleme yoğunluğu, imajın bir bölgesindeki ölçünün (ör: piksel/mm) birimi başına örnekleme noktalarının sayısıdır.

Büyütme, bir görüntü içindeki bir nesnenin büyüklüğü ile onu temsil eden görüntüdeki nesnenin büyüklüğü arasındaki ilişkiyi ifade eder. Büyütme, işlemede bir girdi görüntüsü ile çıktı görüntüsü arasında anlam ifade eder. Bunun yanında bir fiziksel görüntünün dijitalleştirilme sürecinde büyütülmesi bir anlam içermemektedir. Örnekleme yoğunluğu (veya piksel aralığı) bu konuda daha kullanışlı bir konsept olmaktadır.

Birçok görüntü işleme uygulamasında, görüntü işlemenin amacı asıl obje hakkında bilgi toplamaktır. Sadece dijital imajlar bilgisayarla işlenebilir olduğundan, bu imajlar sadece temsil ettikleri nesnelerin geçici yedekleri olarak davranabilirler. Bu sebeple biz obje ile onu temsil eden görüntü arasında bir benzeşme kurarız. Bir objeyi dijital olarak işleyemediğimizden hatta dijital olmayan bir görüntüyü bile işleyemediğimizden, ona benzeyen dijital görüntüyü işlemeye kısıtlandırılmış durumdayız. Şekil 2.7 görüntü işlemeyi

zincirleme bir sırada göstermektedir.

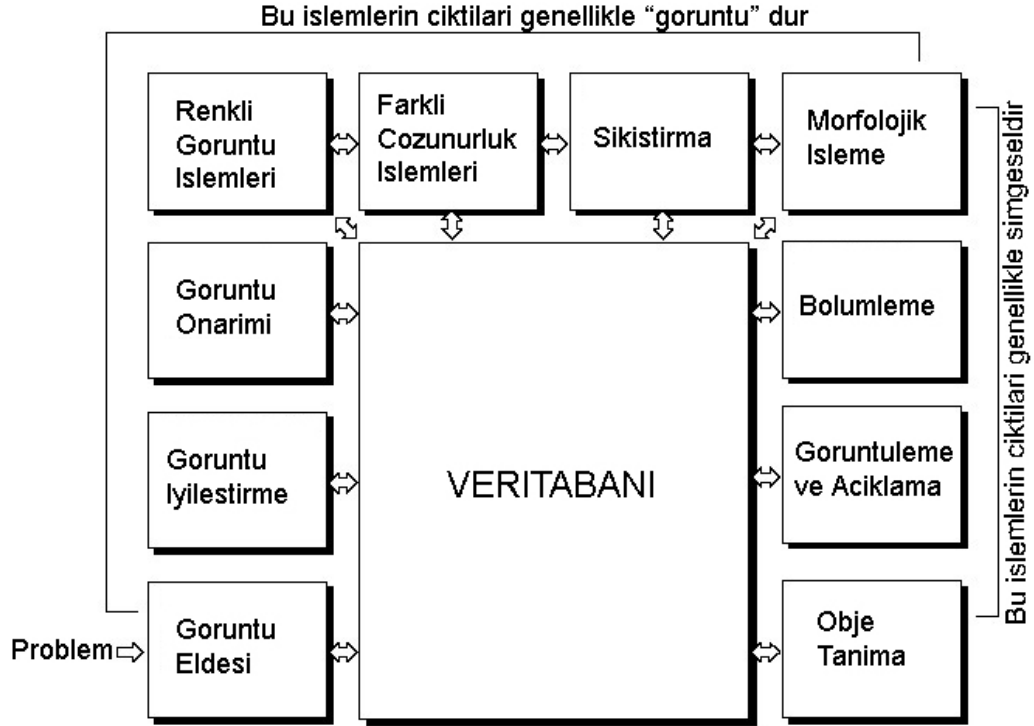


Şekil 2.7 Digital Görüntü İşleme Sırası (Castleman., 1996)

Kamera objeye benzeyen optik bir imaj oluşturur. Buradan geliştirilen film optik imajın negatif imajı olarak üretilir. Film optik imaja benzeyen bir imajı sayısallaştırıcı yüzey üzerinde oluşturur ve buradan bir girdi görüntüsü elde edilmiş olur. Hiçbir işleme prosesi yapılmadan çıktı görüntüsü alınmak istense bile toplam işlem boyunca asıl objeye benzeyen 10 farklı imajdan bir çıktı görüntüsü elde edilmiş olur. Buradan, görüntü işleme sırasında kaç farklı benzer görüntü elde edileceğini hatırlamak gerekir.

İşlemedeki her adım imajın değerini yitirmesi için bir fırsat oluşturmaktadır. Bu kayıpları engellemek için her adım çok iyi dizayn edilmeli ve çok iyi kontrol edilmelidir. Kullanılan ekipmanlar amaca uygun olarak en iyi şekilde seçilmelidir.

Dijital görüntü işlemlerini iki ana gruba ayırmak mümkün olabilmektedir; girdi ve çıktıların görüntü olduğu metotlar, ikinci grup ise girdilerin görüntü olabildiği ama çıktıların görüntülerden elde edilen simgeler olduğu metotlar. Bu organizasyon Şekil 2.8 de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Dijital Görüntü İşlemede Temel Adımlar (Gonzalez ve Woods., 2002)

Diyagram her prosesin bir imaja uygulanmasını gerektirmemektedir. Maksat, bütün metotların imajlara farklı amaçlar ve farklı gayeler için uygulandığını ifade etmek için bir fikir vermektir.

Görüntü Eldesi : Şekil 2.8 de gösterilen ilk işlem olan görüntü eldesi, zaten dijital olan bir verinin kullanılması olarak verilebileceği gibi genel olarak, örnekleme gibi işlem öncesi prosesleri tanımlamaktadır.

Görüntü İyileştirme : En kolay ve en dikkat çekici görüntü işleme alanlarından birisidir. Temel olarak, görüntü iyileştirme tekniklerinin arkasında yatan ana fikir, gözden kaçan detayların ortaya çıkartılması veya bir imajın belli özelliklerini ön plana çıkarmaktır. En hatırlanabilir örnek, imajın kontrastının artırılmasıdır, çünkü daha iyi gözükür.

Görüntü Onarımı : Görüntü onarımı da imajın görünüşünü daha iyi hale getirmeye ilgilidir. Görüntü iyileştirme subjektif bir olayken, görüntü onarımı objektif bir kavramdır. Görüntü kayıplarının restorasyonunda matematiksel ve tahmin modellerinin kullanılmasıyla alakalıdır. Görüntü iyileştirme insan yorumuna açık bir konudur, elde edilecek sonuç kişinin tercihlerine bağlı olarak değişir.

Renkli Görüntü İşleme : İnternet üzerinde renkli dijital imajların kullanımının artması bu konunun önemini artıran bir etken olmuştur.

Sıkıştırma : Adından da anlaşıldığı gibi bir imajın saklanabilmesi için gerekli olan sabit disk miktarını azaltmakla ilgilenir. Saklama teknolojileri son zamanlarda oldukça fazla ilerlemiş olsa da, aynı durum aktarma teknolojileri için söylenememektedir. Bu özellikle görüntü içerikli olan internetin kullanımında önemli bir konu haline gelmektedir. Bilgisayar kullanıcılarının dosya uzantılarından tanıdık oldukları JPEG formu bir imaj sıkıştırma standardıdır. (JointPhotographicExpertsGroup)

Morfolojik İşleme : Bu konu, imajın tekrar görüntülenmesinde ve şeklinin tanımlanmasında yararlı olan imaj bileşenlerinin eldesinde kullanılan araçlarla ilgilenir.

Bölümleme : Otomatik bölümleme işlemi imaj işlemenin en zor görevlerinden birisidir. Bölümleme ne kadar doğru olursa, tanıma işlemi o kadar daha başarılı olur.

Veri Tabanı : Bir problem hakkındaki bilgiler bir imaj işleme sisteminde veritabanında kodlar şeklinde bulunmaktadır. Veri tabanı her işleme modülüne rehberlik etmesinin yanı sıra, modüller arasındaki iletişimi de sağlamaktadır. Bu durum Şekil 2.8 de çift yönlü oklarla gösterilerek belirtilmeye çalışılmıştır.

Şu anda imajın görüntülenmesini konuşuyor olmasak da unutmamak gerekir ki, imaj işleme prosesi esnasında Şekil 2.8 deki her bir aşamadan sonra çıktı görüntüsü almak mümkündür. Aynı zamanda tüm imaj işleme uygulamaları Şekil 2.8 deki komplike düzenin tamamını içermez. Örneğin insan görsel yorumu için yapılan görüntü iyileştirme işlemi çok nadir geri kalan diğer işlemleri gerektirir. Genel olarak bir imaj işleme uygulamasının karmaşıklığı arttıkça, sorunu çözmek için gerekli olan işlemlerin sayısı da artmaktadır. (Gonzalez ve Woods., 2002)

Son zamanlarda görüntü işlemenin CAD ile bağlantısı araştırılmaktadır. CAD güçlü görsel teknikler içeren bir araç olduğu için CAD ve görerek algılama arasında pek çok benzerlik beklenebilir. Ancak CAD ve görüntü işlemenin farklı amaçları nedeni ile bazı temel farklılıklar oluşabilir. İki alanda da farklı modelleme teknikleri geliştirilmiştir. Daha çok ihtiyaç duyulan ikisine de uygun, eşsiz bir metodun sunulmasıdır. Pek çok CAD sistemi tarafından kullanılan yapıcı katı geometri (CGS) uygun değildir, çünkü görerek algılama yüzeyin görüntüsü ile çalışırken CAD modelleme için basit katılar kullanılır. CGS nin önemi, 3-D segmentasyonun güvenilir olarak oluşturulabildiği derecelere, 3-D görüş tekniklerini arttırmalıdır.

3-D CAD modeller ve görüntüler arasındaki uyumlama, 2-D görüntü uzayında ki noktaların 3-D model uzaya uydurulmasını kapsar. Genişletilmiş Gaussian yüzeyler (EGS), bu iş için tasvirin iyi bir şeklidir. Çünkü, yüzeyler, onların yüzey konumu ve bölgesine göre Gaussian küresi üzerine haritası çizilir. Bundan dolayı EGS, görüntü işleme ve CAD'e, her ikisine de, uygundur. (Bhanu, 1987)

Parça tanıma için, birbirine bağlı CAD ve Görerek algılama, off-line ve on-line hesaplama içerir, (Milutionviç vd., 1987) tarafından tanımlanan sistemin off-line safhası esnasında, parçanın bir kaç konumu için genel görüntüler, 3-D CAD modelden çıkartılır. Her bir eklemeli konum için (10 derece artışlar), çevre, ağırlık merkezi ve sınır noktaları arasındaki ortalama mesafe gibi nitelikler, genel görüntülerden çıkarılır. On-line safhasında, gerçek görüntüde bulunan nitelikler, bütün eklemeli konumlar için var olan nitelik tabloları ile (en iyi uyuşma gösterdiği saptanan konum ile) karşılaştırılır. Referans nitelik tabloları da gerçek görüntülerden çıkartılabilir. Ancak bu, hantal ve zaman harcıyıcı bir iştir, zira bütün dengeli durumlar için, bütün eklemeli konumlar göz önünde tutulmalıdır.

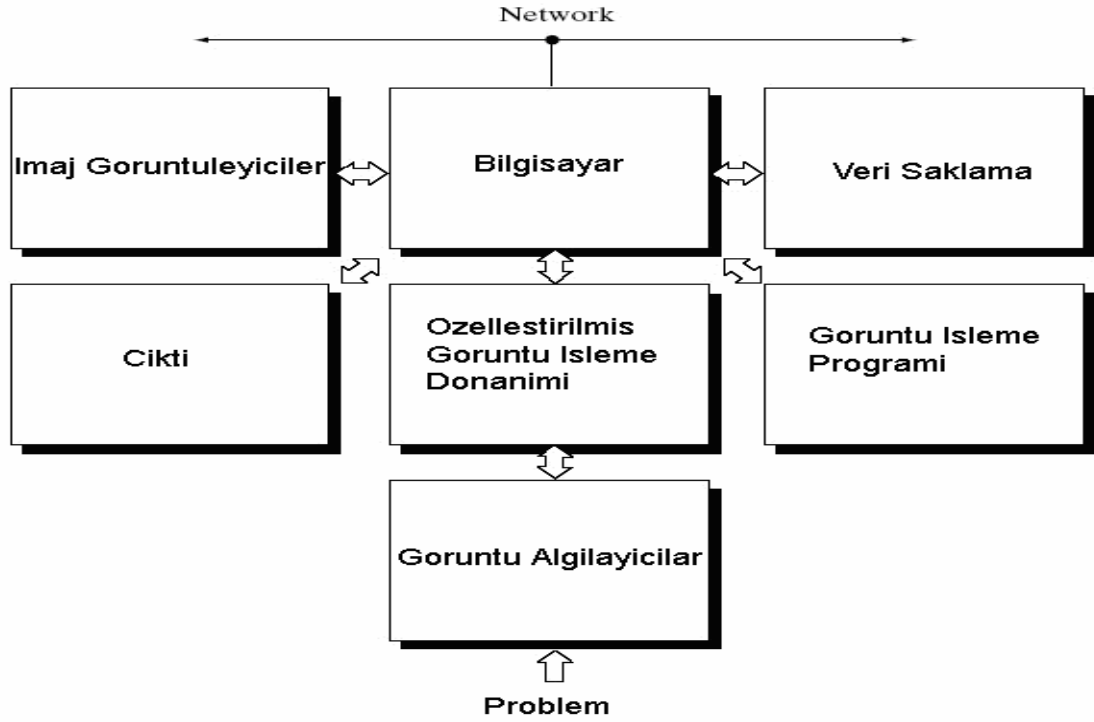
Uygulamaların daha geniş bir spektrumunda kullanıldığı bir teknikte, strateji planlama esaslı CAD dir, CAD modeli bir kaç kapanan parça ile görüntüde saptanacak nesnelerin çok özel niteliklerini değerlendirmek için kullanılır. Tanıma prosesinin on-line safhasında, görüntü nitelikleri ile mümkün olabilir uyuşmayı bulmak için, sadece bu optimum nitelikler kullanılır.

Görüntü işlemenin max. Etkinliğine izin veren, özel nesne niteliklerini bulmak için, CAD modeller ve yapay zeka kullanımı fikri, diğer alanlara genişletilebilir. Bir kaç yüz parçayı içeren sınıflandırma problemleri için, CAD veritabanı ile her bir parçanın kendine has niteliklerini tanımlamak, bütün nesnelerin, bütün dengeli durumlarının görüntülerini elde etmekten ciddi olarak daha kolaydır, el ile nitelikleri derlemek, nitelikleri belirlemek, tek nitelik setinde işe yarar. (Tonshoff vd.,1988)

2.2 Görüntü İşleme Sisteminin Bileşenleri

1980'lerin ortalarına kadar bir çok çeşitli görüntü işleme sistemleri satışa sunulmuştur. 80'lerin sonu ve 90'ların başında görüntü işleme donanımları bir kademe ileriye sıçrayarak, endüstriyel istasyonlara uyumlu, PC lere takılabilen tek parça donanımlara dönüşmüştür. Donanım fiyatlarının düşüşü ve marketteki bu ileri hareket aynı zamanda görüntü işleme için gerekli olan yazılım firmalarının da çoğalması için bir hızlandırıcı etken rolü oynamıştır.

Halen fiziksel olarak çok büyük olan görüntü işleme sistemlerinin satışı devam etse de (örneğin uydu fotoğraflarının incelenmesi,..) yeni akım genel kullanım amaçlı ancak özel görüntü işleme donanımına sahip çok daha küçük bilgisayarlar üretme yönündedir. Şekil 2.9 da bir görüntü işleme sisteminin temel bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 2.9 Genel Amaçlı Bir Digital Görüntü İşleme Sisteminin Elementleri
(Gonzalez ve Woods., 2002)

Algılayıcı; Dijital görüntü elde edebilmek için kullanılır ve genellikle iki elemandan oluşan bir sistemdir. Birincisi, görüntüsünü almak istediğimiz fiziksel nesneden yayılan enerjiye duyarlı bir eleman, ikincisi ise sayısallaştırıcı adını verdiğimiz ve fiziksel algılama elemanından çıkan bilgiyi dijital forma çeviren bir elemandır.

Özelleştirilmiş Görüntü İşleme Donanımı; Az önce bahsi geçen sayısallaştırıcıya benzeyen bir elemandır. Farkı, bilgisayar için gerekli olan dijital veriyi daha hızlı şekilde aktarmak, aritmetik ve logic operasyonları gerçekleştirmek gibi işlemler için fazladan bir eleman olmasıdır ve ön operasyonları bilgisayar yerine gerçekleştirir.

Bilgisayar; Bir görüntü işleme sistemindeki bir bilgisayar genel kullanım amaçlı bir PC den çok amaçlı bir süper bilgisayara kadar değişebilir. Off-line veri işleme tekniklerinin çoğu için genel amaçlı bilgisayarlar yetmektedir.

Yazılım; Görüntü işleme için kullanılan yazılımlar özel görevleri gerçekleştirmek için

tasarlanmış özel modülleri kapsarlar. Çok daha gelişmiş görüntü işleme yazılımları bu modülleri kendi içinde entegre etme ve birlikte çalıştırma yeteneklerine sahiptir.

Sabit Disk; Bir görüntü işleme sistemi için kesin bulunması gereken donanımlardan biridir. 1024*1024 piksel bir görüntüyü 8-bit de saklamak için yaklaşık olarak 1Mb veri alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu bir tek görüntü için değil de yüzlerce binlerce hatta milyonlarca resim için düşünecek olursak bu veriyi saklamak önemli ve zor bir görev haline gelmektedir. Dijital görüntü işlemede verinin saklanması işi genel olarak 3 ana gruba ayrılmaktadır.

- İşlem sırasında kullanmak üzere kısa süreli saklama
- Normalden daha hızlı bir geri çağırım (re-call) için on-line yedekleme
- Arşiv amaçlı saklama

İmaj Görüntüleyiciler (ekranlar); Günümüzde kullanılanları genellikle renkli düz ekran TV monitörlerdir. Monitörler, işleme sistemlerinin bir parçası olan ekran kartlarıyla aktarılan çıktı imajları görüntülerler.

Çıktı (Hardcopy); Cihazları lazer yazıcılar, ısı duyarlı cihazlar, mürekkep püskürtmeli yazıcılar, dijital üniteler ve CD-ROM medya gibi cihazları kapsayan imaj kayıt ortamlarıdır.

Ağ (NetWork); Günümüzde kullanılan tüm bilgisayarlar için mevcut bir durumdur. İmaj işlemede açığa çıkan oldukça büyük ebatlarda veri kapalı ağ sistemlerinde bir sorun teşkil etmezken, internet kullanımında bant genişliği sorun yaşatmaktadır. Ancak günümüzde fiber optik gibi geniş bant teknolojiler sayesinde bu sorunun üstesinden gelinmektedir. (Gonzalez ve Woods., 2002)

2.3 Görüntü İşlemede Kullanılan Teknikler

2.3.1 Gölge Düzeltme

Görüntüler fiziksel nesnelerden elde edilirken, ışık, kamera veya gerçek nesneden kaynaklanan durumlardan dolayı görüntü üzerinde belirgin gölgeler oluşabilir. Bazı durumlarda görüntü merkezde parlak kenarlara yaklaştıkça koyulaşan veya bu durumun tam tersi şekilde merkezde koyu kenarlara doğru parlaklaşan bir yapı içinde olabilir. Veya görüntünün sağından soluna giderken parlaklık azalabilir yada artabilir. Gölgeleme, uniform olmayan aydınlatma, uniform olmayan kamera hassasiyeti, hatta lensin lekeli, çizik veya kirli olmasından bile kaynaklanabilir. Sonuç olarak bu gölgeleme olayı istenmeyen bir durumdur. Eğer son amaç imaj analizi veya imaj anlamlandırması ise görüntünün bu durumdan kurtarılması öncelikli hale gelmektedir. (Young vd., 1998)

2.3.2 Görüntü İyileştirme ve Onarım Teknikleri

Dijital imaj elde etme prosesi genellikle görüntüde kayıplara sebep olur. Bu durum mekanik problemlerden, odaklanma problemlerinden, lensin hareketinden, uygun olmayan aydınlatmadan kaynaklanan kirlenmeler, orjinal resime göre daha kötü bir dijital görüntü eldesine sebep olabilir. Görüntü iyileştirmenin amacı, kayıt edilmiş bir görüntüden yola çıkarak görsel olarak en memnun edici bir imaja ulaşmaktır. Görüntü onarımının amacı ise kayıtlı bir görüntüden yola çıkarak orjinal görüntüye en yakın olan bir imaja yaklaşımdır. Görüntü iyileştirmenin amacı güzelleştirme, görüntü onarımının amacı ise gerçekliktir. (Young vd., 1998)

2.3.2.1 Keskinlik Filtresi

Fotoğraf tekniğinden iyi bilinen bir görüntü iyileştirme yöntemi görüntüdeki kenarları belirginleştirmektir. Teknik, keskinlik maskeleye olarak bilinmektedir. Keskinlik maskesiyle bir görüntüdeki sınır bölgelerinin (kenarlar) iyileştirilmesi demek ilk önce bu kenarların resimden ayrılması, sonra güçlendirilmesi ve tekrar görüntüye eklenmesi olarak tanımlanabilir. (Young vd., 1998)



Original ↑

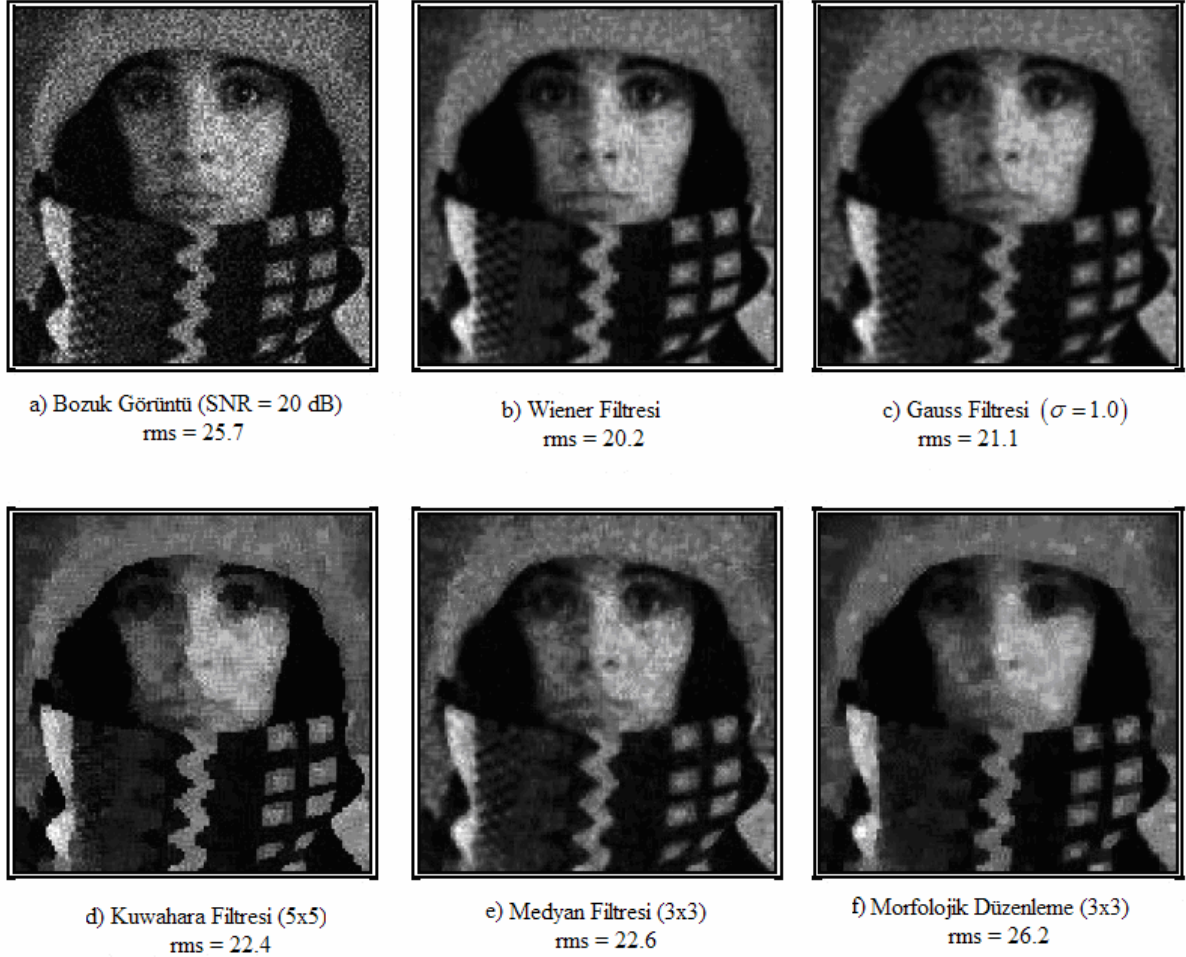
↑ iyileştirilmiş

Şekil 2.10 Laplacian Keskinlik Maskesi kullanılarak iyileştirilmiş bir görüntü ile orjinalinin karşılaştırılması (Young vd., 1998)

2.3.2.2 Kirlilik Giderme

Kirlilik giderme işlemi için kullanılan lineer filtreler içerisinde optimal filtreleme işlemini Wiener Filtresi vermektedir. Burdaki optimal kelimesi minimum ortalama kare hata (mean-

square error ; mse) verdiği için söylenmektedir. Optimal filtre aynı zamanda ortalama kök kare hata (root mean-square error ; rms) yı da minimize etmektedir. Kirlilik giderme işlemi için kullanılan 5 farklı teknik Şekil 2.11 de gösterilmiştir. Görüntü spektrumu ve kirlilik spektrumu bilinen bir görüntü için filtreler uygulanmıştır. Diğer filtreler için değerler (komşuluk ölçüsü vb..) rms i minimum yapacak şekilde seçilerek uygulanmıştır.



Şekil 2.11 Farklı teknikler kullanılarak yapılan kirlilik giderme operasyonlarının karşılaştırması (Young vd., 1998)

Şekil 2.11 de de görüldüğü gibi Lineer filtreleme yöntemleri olan Wiener ve Gauss filtreleri diğer 3 filtreden oldukça farklı ve iyi sonuç vermişlerdir. (Young vd., 1998)

2.3.2.3 Distorsiyon Giderme

Yukarda anlatılmaya çalışılan olay yani sadece kirlilik bulunması durumu normalde bir imajın görüntü kaybını açıklamak için yeterli değildir. Gerçek bir dijital imaj, sadece kirlilik değil bunun yanında, lens, kamera veya objenin hareketi gibi değişik etkenler sebebiyle de görüntü kayıpları yaşar. Şekil 2.12 deki örnekte hem kirli hem de bozuk bir dijital görüntünün

filtrelenmesi görülmektedir.



Şekil 2.12 Wiener ve medyan filtreleri kullanarak kirlilik ve bozukluk giderme (Young vd., 1998)

Şekil 2.12 de görüldüğü gibi Wiener filtresi uyguladıktan sonra rms 108.4 (Şekil 2.12.b) çıkmıştır. Daha sonra 3*3 komşuluklu bir medyan filtre kullanımı ve sonrasında kontrast genişletme yapılarak Şekil 2.12.c elde edilmiştir. Wiener filtresi lineer filtreler içinde en düşük rms değerini veriyor olsa da, lineer olmayan bir filtre olan medyan filtresi daha düşük bir rms değeri vermiştir. Median filtresinden sonra elde edilen imajın görsel kalitesi Wiener filtresinden elde edilenle karşılaştırılabilecek durumdadır. (Young vd., 1998)

2.3.3 Bölümleme

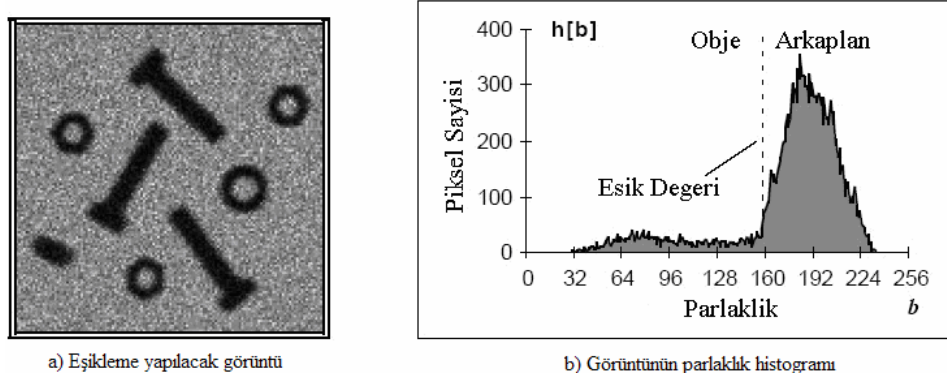
Nesnelerin görüntülerinin analiz edilmelerinde öncelikli olan konu görüntü üzerinde ilgilenilen kısım ve “geri kalanı” arasındaki farkı ayırt etmektir. Bu son kısım aynı zamanda arkaplan olarak da adlandırılabilir. Görüntü içerisinde ilgilenilen kısmı bulmaya yarayan tekniklere bölümleme teknikleri denmektedir. Bu bölümde eşikleme ve sınır bulma teknikleri bulunmaktadır. Anlaşılması gereken iki nokta şunlardır;

1. Tüm imajlara uygulanabilecek ve başarılı olacak universal bir bölümleme tekniği yoktur.
2. Hiçbir bölümleme tekniği mükemmel değildir.

2.3.4 Eşikleme

Bu teknik basit bir kavram üzerine kuruludur. Parlaklık eşik değeri olarak verilen bir θ değeri seçilir ve imaja uygulanır. Algoritma açık renk üzerinde koyu kısımları yada tersi olarak koyu zemin üstünde parlak kısımları arar. Sonuç olarak “obje” ve “arkaplan” olarak iki kısım belirlenir. Burada önemli olan soru bu eşik değerinin nasıl belirleneceğidir. Tüm imajlar

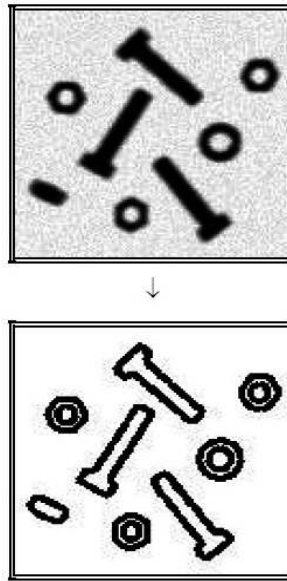
üzerinde uygulanabilecek garantili bir prosedür bulunmamasına rağmen birçok alternatifler bulunmaktadır. Şekil 2.13 te eşik değeri belirlenmek istenen bir görüntünün parlaklık histogramı çıkartılmıştır. Yüksek değere sahip olan kısımlar daha açık renkte kısımları yani bu görüntü için arkaplanı göstermekte daha düşük değerde olan kısımlar ise objeleri göstermektedir.



Şekil 2.13 Eşik Değerinin altında kalan bölgeler (pikseller) “obje” olarak , üstünde kalan kısımlar ise “arkaplan” olarak işaretlenecektir. (Young vd., 1998)

2.3.5 Kenar Bulma

Eşikleme tekniği tümü objelere ait olan veya geri kalan kısma ait olan piksellerin tamamını ayıran bir bölümlenme işlemidir. Buna alternatif bir bölümlenme işlemi de objelerin sınırlarını belirleyen piksellerin bulunmasını sağlayan bir bölümlenme tekniği olan kenar bulma tekniğidir.



Şekil 2.14 Sobel gradienti kullanılarak gerçekleştirilen kenar bulma operasyonu (Young vd., 1998)

2.4 Vektörizasyon ve Görüntü İşleme

Vektörizasyon, diğer bir adıyla rasterden vektöre dönüşüm, raster görüntüden vektörleri bulma işlemidir. Görüntü işleme teknikleri kapsamında günümüze birçok vektörizasyon tekniği geliştirilmiştir. Raster görüntülerin vektörizasyonu, döküman ve grafik çizimlerin analizi ve tanınması için yeni olmayan bir konu olmasına rağmen halen mükemmel olmaktan uzaktır ve gelişmeye devam etmekte olan bir konudur (Tombre, 1998). Geleneksel vektörizasyon metotları, bütün mühendislik çizimlerine uygulanmakla birlikte her bir mühendislik alanının kendine has çizim kuralları vardır. Bunları dikkate almadan gerçekleştirilen bir vektörizasyon işlemi yeterince başarılı olamaz. (Karabörk vd., 2005)

2.4.1 Vektörizasyon Metotları

2.4.1.1 Hough Dönüşüm Tabanlı Metotlar

Hough Dönüşüm Tabanlı Metotlarda, ikili görüntüdeki (siyah-beyaz) uzaysal uzatılmış desenler daha kısa parametre uzayına dönüştürülerek vektörizasyon gerçekleştirilmektedir. Bu dönüşüm zor olan görüntü uzayındaki tespit problemini, parametre uzayında daha kolay çözülen yerel doruk tespit problemine çevirmektedir. Hough Dönüşüm Tabanlı Metotların düz çizgileri tespit etmesinin bir yolu, çizgiyi eğimi ve kesişim noktalarına göre parametrize etmektir. Düz çizgiler aşağıdaki eşitlikte tanımlanmaktadır.

$$y = mx + c \quad (1)$$

(x,y) koordinat eksenindeki her çizgi, (m,c) ekseninde bir noktaya karşılık gelmektedir. (x,y) eksenindeki bir noktadan ise sonsuz sayıda doğru geçebilmektedir. Bu doğruların eğimleri ve sonlandırılma noktaları (m,c) düzleminde bir çizgi oluşturmaktadır. Bu çizgi ise 2 eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$c = -mx + y \quad (2)$$

(m,c) düzlemi, dikdörtgen biçiminde kutucuklara ayrılmıştır. Bu kutucuklar ikinci eşitlikteki doğrudan yer alan (x,y) düzlemindeki her siyah pikseli toplamaktadır. Her siyah piksel için ikinci eşitlik çizildikten sonra, bu doğrunun geçtiği hücreler artırılmaktadır. Görüntü uzayındaki tüm pikseller bu şekilde hesaplandıktan sonra, dönüşüm uzayındaki doruk noktaları, çizgileri ifade etmektedir. Gürültü dikkate alınırsa, belirlenen bir eşik değerinin üzerindeki her bir doruk eşitlik 1 de tanımlanan bir çizgiyi oluşturmak için kullanılmaktadır. Uygulamada bu çizgi aynı doğrultuda olan pek çok çizginin bileşkesi olabilmektedir. Bundan

dolayı orijinal görüntüdeki varsayılan çizgi pikselleri takip edilerek bu parçaların son noktaları bulunur. Çizgi kalınlığı da aynı zamanda çizgi izleme işlemi sırasında her bir pikseldeki kalınlık kontrol edilerek belirlenmektedir. m ve c değerleri orijinal görüntüde kırık ve gürültülü çizgilere ait olan noktalar için (m, c) düzleminde doruklar oluşması beklendiğinden, Hough Dönüşüm Metodu gürültülü görüntülerdeki çizgileri de tespit edebilmektedir (Liu vd., 1999).

Bu algoritmanın en basit versiyonu çizgileri tanımasına rağmen, daha karmaşık şekillere uyarlanabilir. Yöntem, her bir piksel üzerinde en az bir kez işlem yaptığı için hesaplama zamanı uzundur.

2.4.1.2 İncelme Tabanlı Metotlar

İnceltme Tabanlı Metotlar, kenar izlemeden önce, bir piksel kalınlığında iskelet çıkarmak ve orta eksen noktalarını bulmak amacıyla kullanılmaktadır. Literatürde, iskeletleştirme, çekirdek çizgi tespiti, orta eksen dönüşümü veya simetrik eksen dönüşümü olarak da ifade edilmektedir. Bu yöntemde girdi bir görüntü, çıktı ise morfolojik işlemler uygulanmış girdi görüntüden elde edilen siyah piksellerden oluşan iskelettir. Bir siyah alanın iskeleti topolojik olarak orijinal görüntünün eşdeğeri fakat miktar olarak en küçük halidir. Bu nedenle orijinal görüntüye oranla analiz edilmesi ve kullanılması daha kolaydır. İnceltme algoritmaları; yinelemeli sınır erozyonu, uzaklık dönüşümü ve uygun iskelet olmak üzere üç ana grupta toplanabilir.

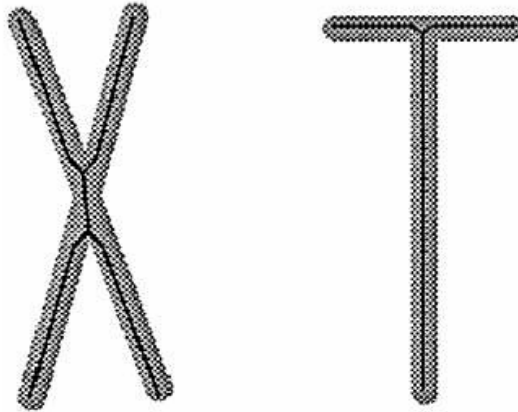
Yinelemeli sınır erozyonu, orta eksen ya da iskelet kalana kadar, sınır piksellerini silme düşüncesine dayanmaktadır. Bu yöntemde esas işlem, 3×3 'lük bir pencereyi görüntü üzerinde gezdirmek ve pencerenin merkezindeki pikseli işaretlemek için bir takım kurallar uygulamaktır. Her taramanın sonunda, işaretlenmiş olan pikseller silinmektedir. Taramalar, silinecek hiç piksel kalmayana kadar devam etmektedir. 3×3 'lük pencerede piksellerin kodlanması Şekil 2.15' de gösterilmiştir. Eğer aşağıdaki kuralların hepsi sağlanırsa, P noktası silinmek için işaretlenmektedir.

P_3	P_2	P_1
P_4	P	P_0
P_5	P_6	P_7

Şekil 2.15 P pikseli ve onun 3×3 komşuluğu (Karabörk vd., 2005)

- P'nin 4 komşusundan en az biri beyaz olmalıdır (Ör: P_{2i} , $i = 0...3$). Örneğin P'nin bir kenar pikseli olması durumu.
- P'nin 8 komşusu içinde en az iki tanesinin siyah piksel olması gerekir (Ör: P_i , $i = 0...7$). Örneğin P, bir çizginin son pikseli olmamalıdır.
- 8 siyah komşudan en az biri işaretlenmemiş olmalıdır.
- P, bir kırılma noktası olmamalıdır.
- Eğer P_2 işaretlenmişse P_2 'nin beyaz yapılması, P'yi bir kırılma noktası yapmamalıdır.
- Eğer P_4 işaretlenmişse P_4 'nin beyaz yapılması, P'yi bir kırılma noktası yapmamalıdır.

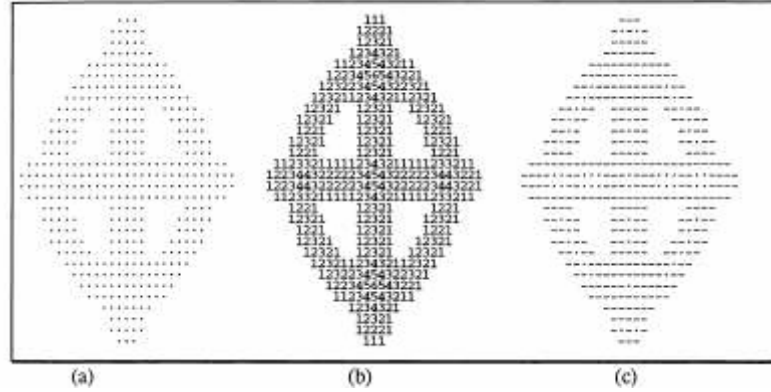
Bu tür algoritmalar, Şekil 2.16'de görüldüğü gibi, X ve T gibi kesişimleri bozabilmektedir. Her durumda, kesin doğrulukla çalışacak diye bir kesinlik yoktur. Yinelemeli sınır erozyonu için geliştirilen daha iyi yöntemler, pencere boyutunu değiştirmeyi veya işaretleme kurallarını iyileştirmeyi içermektedir. Örneğin kimi algoritmalar kare olmayan pencereler kullanırken, kimi algoritmalar $k \times k$ boyutunda pencereler kullanmaktadır. Fakat bu düzenlemeler, güvenlik ve hız açısından çok az ilerleme sağlamışlardır.



Şekil 2.16 Kesişimlerdeki inceltme bozulmaları (Karabörk vd., 2005)

Bir diğer yaklaşım uzaklık dönüşümüdür. Bu algoritmalar, resimdeki her pikselin yerine, piksele en yakın beyaz pikselin uzaklığını gösterecek şekilde, bir sayı atarlar. İki nokta arasındaki uzaklık, dörtlü zincir koduna göre, birbirine en yakın komşuların uzaklıkları olarak hesaplanır. Bu dönüşüm, bir fonksiyonla sıralı olarak tarama yapmakta ve bunu izleyen adımda ise ikinci bir fonksiyonla ters tarama işlemi gerçekleştirmektedir. Bir defa uzaklık fonksiyonu gerçekleştirildikten sonra, iskeleti bulmak için yerel maksimum işlemi uygulanır. Bu işlem, resmi tekrar oluşturmak için gerekli olan en az nokta sayısını sağlamak olarak gösterilmektedir. Şekil 2.17'de uzaklık dönüşümü ve iskelet gösterilmiştir. Uzaklık dönüşümü işlemini özyinelemeli ve özyinelemeli olmayan şekilde yapan değişik fonksiyonlar mevcuttur.

Bu algoritmanın en kötü yanı, Şekil 2.17.c’de de görüldüğü gibi iskeletin, özellikle birleşim yerlerinde, bağlantısının kopmasıdır.

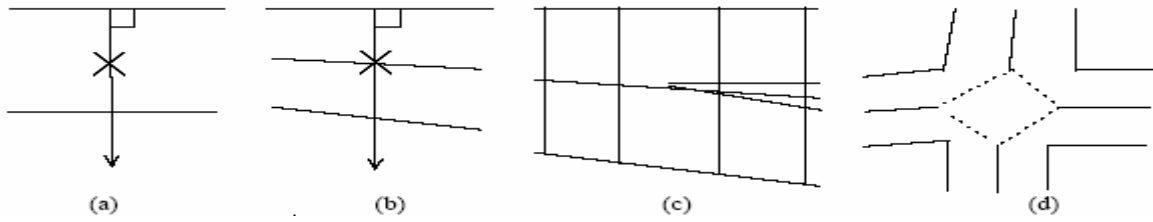


Şekil 2.17 Uzaklık dönüşümünün temsili gösterimi. (a) Resim (b) Uzaklık dönüşümü (c) İskelet (Karabörk vd., 2005)

Yukarıdaki iki farklı algoritmayı birleştiren bir üçüncü algoritma ise, birleşik inceltme algoritmasıdır. Birleşim, iskeletin iki piksel kalınlığında olmasına sebep olmaktadır. Daha sonra iskelet, bir piksel kalınlığına indirilmektedir. Bu algoritma, geleneksel inceltme algoritmalarından daha doğru sonuç vermesine karşın, ek işlemler için daha fazla zaman gerektirir. İnceltme algoritmalarının amacı, veri boyutunu azaltarak, sadece resimdeki şekilleri kullanmayı sağlamaktır. Genel olarak ek işlemler gereklidir. Birçok inceltme algoritması, şekildeki ilişkileri onarma yeteneğine sahiptir. Fakat yüksek zaman karmaşıklığı, çizgi kalınlığı gibi şekil bilgilerinin kaybolması, kesişimlerde bozulma, yanlış ve sürpriz dallanmalar gibi dezavantajları vardır. Bu algoritmalar, daha çok çizgisel görüntülerin vektörizasyonunda kullanılır. Temel uygulama alanları görüntü alanının küçük ve çizgi kalınlığının önemli olmadığı, Optik Karakter Tanıma (OCR) uygulamalarıdır. Performans bakımından çok iyi olan algoritmalar da mevcuttur. Bu algoritmalar çok hızlı işlem yapabilir, bağlantı noktalarını iyi belirleyebilir fakat iskelet kalitesi çok iyi değildir. Bu tür bir algoritma, bir Optik Karakter Tanıma uygulaması için kullanılabilir. İnceltme işlemi sonucunda elde edilen iskelet, hala bit seviyesindedir ve vektörize edilmesi gerekmektedir. Bir piksel kalınlığında iskelet, kenar izleme alt işlemi yoluyla bir zincire bağlanır. Bundan sonra çokgenleştirme işlemi, bir önceki adımda bulunan kritik noktaları birleştirip, çokgen oluşturur (Liu vd., 1999).

2.4.1.3 Şekil Tabanlı Metotlar

Şekil tabanlı metotlarda, ilk önce raster görüntülerden şekiller çıkarılmakta ve daha sonra çizgi gibi alanları tanımlamak için eşlenebilir şekiller belirlenmektedir. Çoğunlukla nokta zincirleri ile temsil edilen orta eksenler, bu şekil çiftleri arasından oluşturulmaktadır (Song vd., 2002). Şekil tabanlı vektörizasyon algoritmaları, aynı anda örnekleme ve orta eksen bulma işlemini gerçekleştirdikleri için inceltme tabanlı metotlardan farklıdır. Bu işlem, inceltme tabanlı metotlarda ilk önce tüm orta eksenlerin bulunması ve daha sonra çizgi izlenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Kenarlar, çeşitli kenar çıkartıcı algoritmaları ile kolaylıkla çıkarılabilir. Kenarlar bulunduktan sonra orta eksenlerin nasıl bulunabileceği Şekil 2.18’de görülmektedir. Burada, kenarlardan birbirine indirilen dik çizgilerin orta noktaları orta eksenlerdir.



Şekil 2.18 Paralel kenar tabanlı vektörizasyonun gösterimi (a) paralel kenarların orta noktası (b) yaklaşık paralel olan kenarların orta noktası (c) kaçırılmış kesişme (d) karıştırılmış kesişme (Karabörk vd., 2005)

Şekil tabanlı algoritmaların en büyük sorunu, kesişme noktalarındadır. Genel olarak iki temel sorundan bahsedilebilir. İlki, Şekil 2.18.c’de görülen küçük açılı kenarlardır. Bunlar, kenardan çok, kenar çıkarma sırasında kaçırılmış çizgi parçacıklarına benzemektedir. İkinci sorun ise, Şekil 2.18.d’de görüldüğü gibi çapraz kesişimin oluşmasıdır. Vektörizasyon algoritmasının, her türlü şekle karşı uygulanabilir olması, kesişimlerde yanlış karar vermemesi ve yanlış iskelet üretmemesi gerekliliği dikkate alındığında, çok kesişimin ve eğik çizgilerin olduğu çizimlerde kullanılması uygun değildir (Liu vd., 1999).

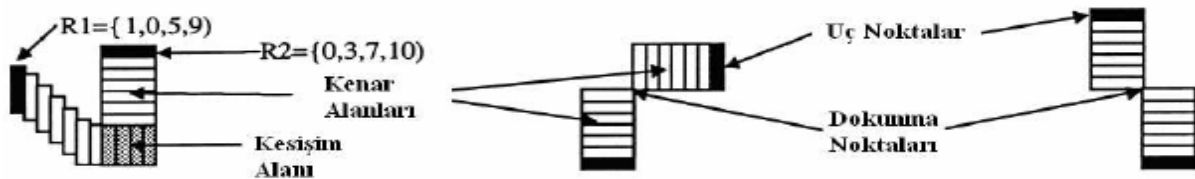
2.4.1.4 Grafik Yürütme Tabanlı Metotlar

Grafik yürütme tabanlı metotlar, yürütme uzunluğunu hesaplamak için raster görüntüleri ya satır ya da sütun boyunca taramaktadır. Daha sonra yürütmeler, grafik yapıları oluşturmak için analiz edilmektedir. Çizgi gibi alanlardaki yürütmelerin orta noktası, bir nokta zincir biçimine çokgenleştirilmektedir. Çizgi biçimi olmayan bir alan, bitişik kenarları birleştiren bir düğüm olmaktadır (Song vd., 2002). Grafik yürütme tabanlı metotlar, yapısal gösterim için

yeterli, çizgi çıkarmada ve bilgi elde etmede verimli olup, işlemesi de kolaydır. Şekil 2.18’de bir yürütme grafiğinin pek çok durumu gösterilmiştir. Bir yürütme, yatay veya dikey bir yöne sahiptir. Sahip olduğu yönde siyah piksel dizileri mevcuttur. Aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R = \{d, c_d, b_d, e_d\}, b_d \leq e_d$$

Burada d , yürütme yönüdür yatay için 0 dikey için 1 değeridir. c_d , dik koordinattır. Eğer yürütme, yatay ise satır numarası, dikey ise sütun numarasıdır. b_d yürütmeye ait ilk pikselin koordinatı, e_d yürütmeye ait son pikselin koordinatıdır. Şekil 2.19’da dikey bir yürütme R1 ile yatay bir yürütme R2 ile gösterilmiştir. Bir yürütme aynı zamanda iki sonlandırma noktası ile de gösterilebilir. Bu durumda yön bu koordinatlardan anlaşılır. Eğer bu noktaların x koordinatı aynı ise yön dikey, y koordinatları aynı ise yön yataydır. Bir resme ait yürütme grafiğini oluşturmak şu şekildedir: İlk adım, sırasıyla, sadece yatay ve sadece dikey yürütmelerden oluşan, basit dikey ve yatay yürütme grafikleri oluşturmaktır. İkinci olarak kenarlar, bitişik ve düzenli kısa yürütmelerle inşa edilir. Resmin geri kalanı, düğüm noktalarında, dikey yürütme ve kısa yürütmelerle kodlanır. Çizgi çıkarma işlemi, girdi olarak bir yürütme grafiği alır. Daha sonra düğümler sezgisel bir yöntemle, bağlı kenarların uzunluğu en çok olacak, alanları en az olacak şekilde rafine edilirler. Kenar alanlarındaki kısa yürütmelerin orta noktaları iskelet olarak alınır. Bundan sonra ise elde edilen iskelet çokgenleştirme işlemine gönderilir (Liu vd., 1999). Bu metot, gürültüye duyarlıdır ve kesişimlerde bozulmalara neden olabilmektedir (Song vd., 2002).

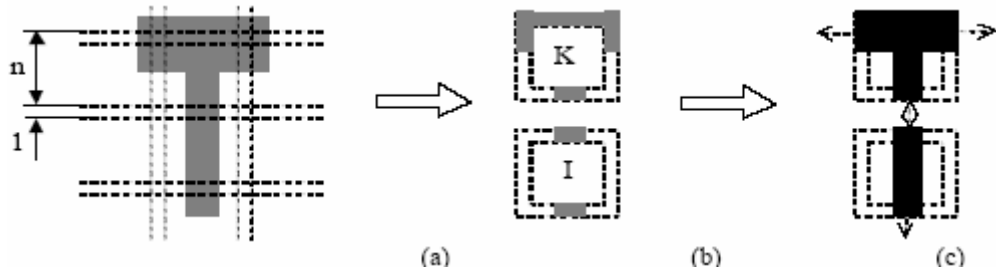


Şekil 2.19 Piksel olarak ifade edilen resimde, yürütme grafiklerinin temsili gösterimi (Karabörk vd., 2005)

2.4.1.5 Ağ Desen Tabanlı Metotlar

Ağ desen tabanlı metotların temel fikri, tüm görüntüyü belirli bir ağa bölmek ve ağın sınırları içerisindeki siyah piksellerin dağılımına bakarak karakteristik desenleri belirlemektir. Bu desenler kullanılarak görüntüye ait bir kontrol haritası oluşturulmakta ve bu haritalar

yardımıyla da uzun, düz çizgilerin çıkarılması gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.20.a'da, görüntü eşdeğer n büyüklüğündeki ağlara bölünmektedir. Her bir birim ağ, sadece sınırlardaki bir piksel genişliğindeki piksellere göre analiz edilmektedir. Elde edilen ağın özellikleri, veritabanındaki ile karşılaştırılmakta ve eşdeğeri ile etiketlenmektedir. Daha sonra görüntüdeki her ağ biriminin yerine gerçek görüntüde etiketi kullanılarak kontrol haritası oluşturulur.



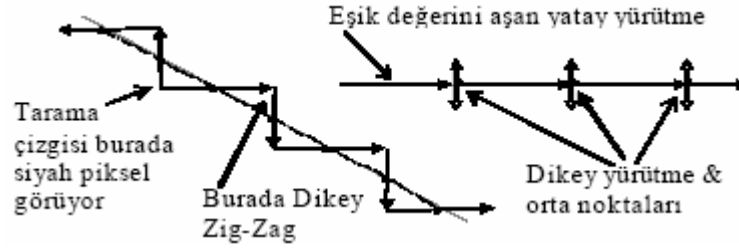
Şekil 2.20 Göz desen tabanlı çizgi çıkarma metodu. (a) görüntü ve gözler. (b) görüntünün iki merkezi gözünün, göz desen etiketleri ve kontrol haritası, (c) çizgiler kontrol haritasının analiz edilmesiyle çıkarılır (Karabörk vd., 2005)

Şekil 2.20.b'de, Şekil 2.20.a'da görülen, resmin ana bölümleri, sırasıyla K ve I olarak etiketlenmiş iki ağdan oluşan kontrol haritası ile temsil edilmiştir. Çizgiler, ağdan ağa, kontrol haritasındaki ağların karakteristikleri kullanılarak, Şekil 2.20.c'de görüntü çıkarılmıştır. Eğer bilinmeyen, karmaşık desenler var ise soru işareti ile etiketlenirler. Bu tür alanlar, başka bir işlemle, kontrol haritası analizi sırasında, daha detaylı işlenir. Bu işlem, bu alanlardaki her pikseli tarar ve her siyah pikseli bir özelliğe veya çizgiye ait olup olmamasına göre etiketler. Bu yöntemde ağ büyüklüğü en önemli konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Büyük olursa daha fazla işlem zamanı harcanmaktadır. Küçük olursa erişim oranı artarak işlemi zorlaştırmaktadır. Ağ boyu, çizimdeki en büyük çizgi kalınlığından daha büyük iki çizgi arasındaki mesafeden de daha küçük olmalıdır. Çizgi tespiti gerçekleşebilmesi için, ağ boyu çizimdeki en küçük çizgi boyundan da küçük olmalıdır. Noktalar çizgi izleme aşamasında gözden kaçabilir. Bu durum noktaların gürültü olması durumunda avantaj olabilecekken aksi halde dezavantaj oluşturacaktır (Liu vd., 1999).

2.4.1.6 Ayırık Piksel Tabanlı Metotlar

Ayrık piksel tabanlı metotlar, Dori tarafından geliştirilen dikey zig-zag (OZZ) metodundan esinlenerek yine Dori tarafından gerçekleştirilmiştir (Dori vd., 1999). OZZ algoritmasının temel fikri, tek piksel kalınlığında bir ışık ışınının çizgileri takip ederek herhangi bir kenara

çarpması durumunda dikey olarak dönmesi prensibi ile çalışır. Her yürütmenin, ince ışın ile kesişen orta noktası kaydedilmektedir. Bu durum Şekil 2.21’de gösterilmektedir. Eğer bir yürütme belirlenen bir eşik değerinden daha uzunsa, yürütme burada kesilmekte ve dikey bir yürütme yapılarak bunun orta noktası kaydedilmektedir. Böyle bir durumla takip edilen çizginin yatay veya dikey olması durumunda karşılaşılmaktadır. Şekil 2.21’ de yatay durum gösterilmektedir.



Şekil 2.21 Orthogonal Zig-Zag (OZZ) vektörizasyon algoritmasının prensibi
(Karabörk vd., 2005)

OZZ, zaman bakımından verimlidir. Çünkü seyrek piksel erişimi mantığıyla çalışmaktadır. Şekil 2.21’de görüldüğü gibi, OZZ’nin ziyaret ettiği piksel sayısı, resmin yükseklik ve genişliğinin toplamı ile doğru orantılıdır. Ayrıca gürültüye karşı duyarlıdır. Bundan başka, OZZ algoritması çubuk nesneler elde etmek için tasarlanmıştır. Bu yüzden, eğik çizgiler ve yaylar bulunurken, bunları, sonları üst üste binmiş çubuklar olarak veya yanlış sonlandırılmış çubuklar olarak bulmaktadır. (Karabörk vd., 2005) OZZ tanımı genişleterek “Ayrık Piksel Tabanlı” algoritma geliştirilmiştir. Ayrık Piksel Tabanlı algoritmada, OZZ aşağıdaki ilavelerle geliştirilmiştir:

- Genel izleme işlemi, daha önceden çalışan ve her siyah piksel alanına uygulanan başka bir işlemle tespit edilmiş güvenilir bir orta eksen noktasından başlayacaktır.
- Genel izleme işlemi, OZZ’de görülebilecek yatay, dikey ve eğik durumları kontrol edecek şekilde gerçekleştirilmektir. Bu yüzden sadece bir ekran geçişi gerekir ve iki geçişin birleşimi önlenir. Bu, Ayrık Piksel Tabanlı algoritmayı OZZ’den daha hızlı bir hale getirmektedir.
- Çizgi izleme işlemi sırasında, nerede bir kesişim olursa, bir kesişim iyileştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. (Karabörk vd., 2005)

2.4.2 Vektörizasyon İçin Kullanılan Yazılımlar

Piksel bazlı resimleri (bmp, tiff, gif, jpg) vektör formatına (dxf, dwg, iges) çeviren yazılımlar:

- Advanced Raster to Vector Conversion Software[5]
- Adobe Illustrator CS2 software [6]
- AlgoLab Photo Vector [7]
- Autodesk Raster Design [8]
- CorelTRACE [9]
- RasterFratz is a new approach to raster to vector conversion software[10]
- RasterVect[11]
- TracTrix [12]
- Vextractor [13]
- artCAM: 2 boyutlu çalışmalardan, otomatik olarak 3 boyutlu rölyefler oluşturabilen bilgisayar destekli tasarım ve üretim paketidir.[14],[4]

2.5 Görüntü İşleme Uygulama Alanları

Modern teknoloji, çok boyutu sinyallerin basit devre sistemlerinden karmaşık bilgisayar sistemlerine kadar birçok sistemle işlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu işlemenin amacı 3 ana kategoriye ayrılabilir. (Young vd., 1998)

Görüntü İşleme > Görüntü girer – Görüntü çıkar

Görüntü Analizi > Görüntü girer – Ölçüler çıkar

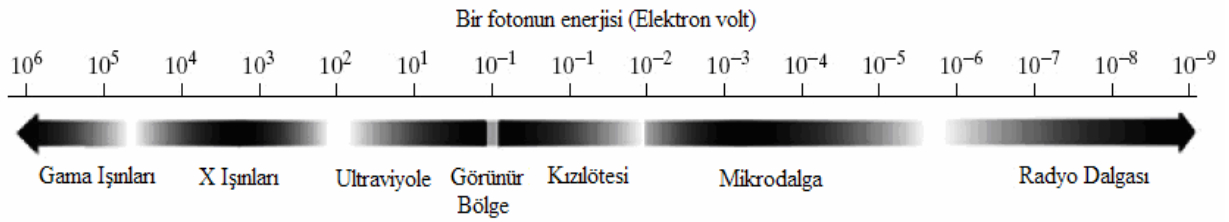
Görüntü Anlama > Görüntü girer – Yüksek mertebeli tanımlar çıkar

Biz burda görüntü işleme yöntemleri ile ilgileneceğiz. Görüntü işleme metotları 2 ana uygulama alanından türemektedirler ;

- İnsan yorumlaması (göz zevki, tatmini) için resimsel bilginin daha da iyi hale getirilmesi
- Otomasyon makine sistemlerinin algılamaları için görüntü verisinin işlenmesi.

İkinci uygulama alanında, ilgi alanı, bilgisayar işleme ile uygun bir forma sokulmuş imaj verisinden yararlanan üreticiler üzerine odaklanmaktadır. Buna örnek olarak; otomatik karakter tanıma, parça montaj ve tarama işlemleri için endüstriyel makine görüntüleme sistemleri, parmak izlerinin otomatik tanınması ve işlenmesi gibi sistemler verilebilir. (Chan, 2004)

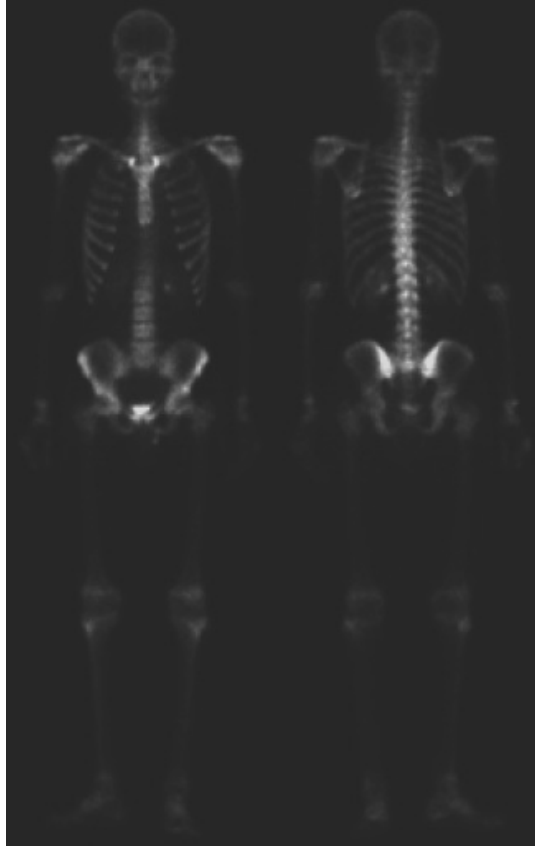
Günümüzde, bir şekilde Dijital Görüntü İşleme tekniklerinden faydalanmayan teknik bir konu kalmamış gibidir. Dijital Görüntü İşleme uygulamaları o kadar geniş bir alana yayılmaktadır ki bazen bu konuyla ilgili bir organizasyon şeması oluşturmak konunun ne kadar dallanmış olduğunu gösterebilmek için gerekli olmaktadır. Bunun için yapılabilecek en kolay sınıflandırma görüntünün elde edildiği ışık kaynağına göre olmaktadır. Görüntüler için günümüzde temel enerji kaynağı olarak elektromagnetik enerji spektrumu kullanılmaktadır. Görüntü eldesi için gerekli diğer önemli kaynakları, akustik, ultrasonik ve elektronik(örneğin elektron mikroskopları) enerji olarak sayılabilir. Sentetik görüntüler bilgisayarlar tarafından oluşturulan ve sadece modelleme ve görüntüleme amaçlı imajlardır.



Şekil 2.22 Foton başına düşen enerjiye göre düzenlenmiş ElektroMagnetik (EM) spektrum (Gonzalez ve Woods., 2002)

2.5.1 Görüntü İşlemede Gama Işınları

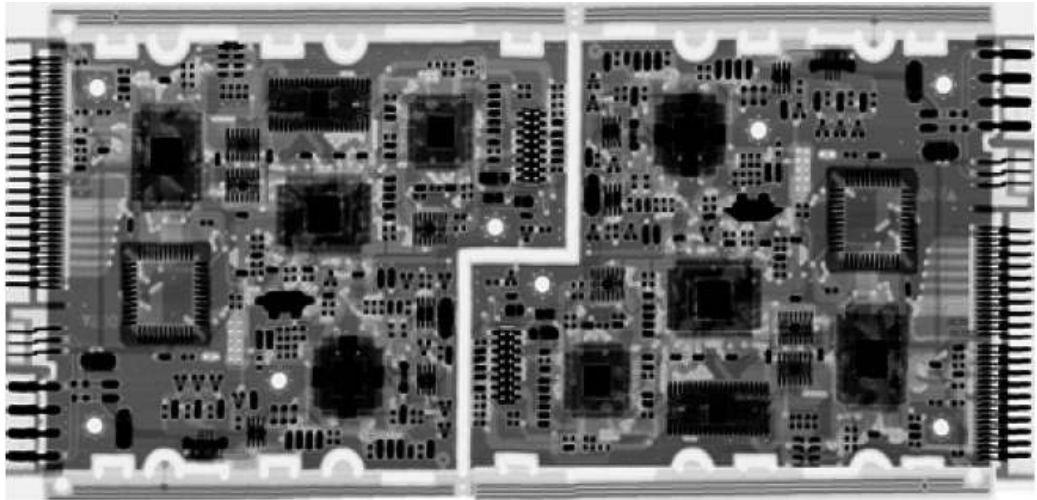
Gamma ışınlarının genel kullanım alanları nükleer tıp ve astronomik gözlemlerdir. Şekil 2.23 da komple bir insan iskeleti görülmektedir. Bu film, hastanın kemik patolojisinde enfeksiyon ve tümör taraması için alınmıştır.



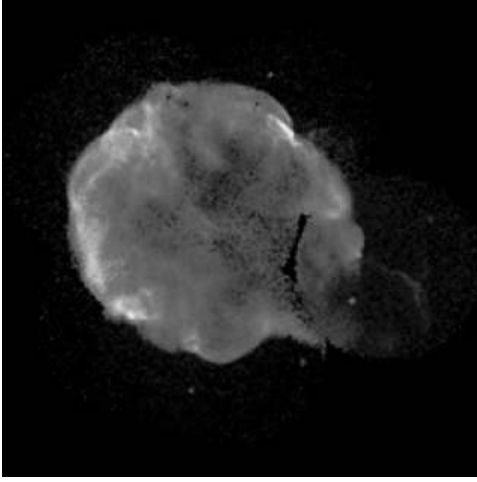
Şekil 2.23 İnsan iskeleti gamma tarama(Gonzalez ve Woods., 2002)

2.5.2 Görüntü İşlemede X-ışınları

Elektromanyetik spektrumunda görüntü elde etmek için kullanılan en eski kaynaklardan birisidir. Elde edilen görüntüler tıp alanında tanı koymada, endüstriyel ve astronomi alanında kullanılmaktadır. (Gonzalez ve Woods., 2002)



Şekil 2.24 a



Şekil 2.24 b



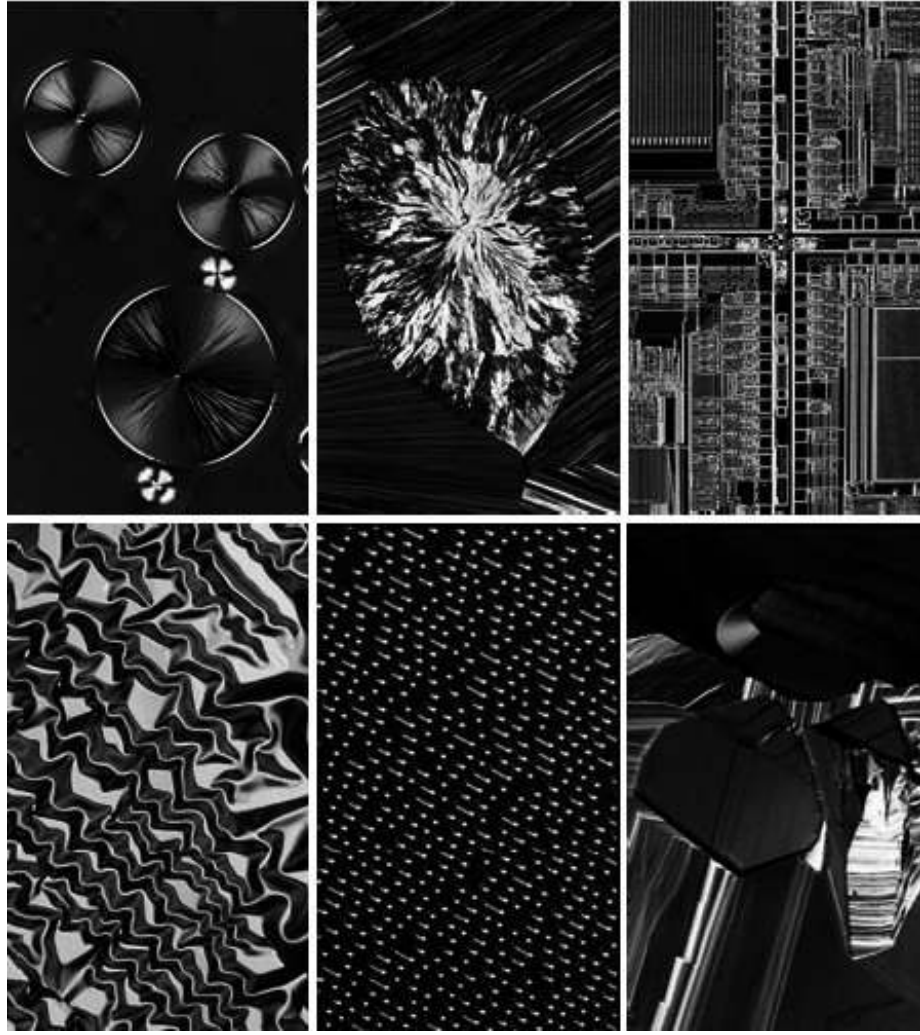
Şekil 2.24 c

Şekil 2.24 X-Işınlarıyla Görüntü İşleme Uygulama Örnekleri (Gonzalez ve Woods., 2002)

- a. Devre elemanları
- b. Astronomi
- c. Göğüs filmi

2.5.3 Görünebilir ve Infrared Bantlarda Görüntü İşleme

Diğer uygulama alanlarının dışında, bu bantta yapılan görüntü işleme uygulamalarının bize tanıdık gelmesi hiçde sürpriz bir durum değildir. İnfrared bant ve görüntü işleme ile elde edilen uygulamalar, görsel imajlama ile birlikte kullanıldığından bu iki bantın aynı sınıfta incelenmesi gerekmektedir. Işın mikroskobu, astronomi, uzaktan algılama, endüstri ve hukuk alanında (parmak izleri,...vb.) kullanımları gösterilecektir. Şekil 2.25 de sadece bir ışık mikroskobundan elde edilen görüntülerin kullanımıyla ilgili uygulamalar gösterilmekte ve sadece burda bile ne kadar fazla uygulama alanı olduğunu göstermektedir.

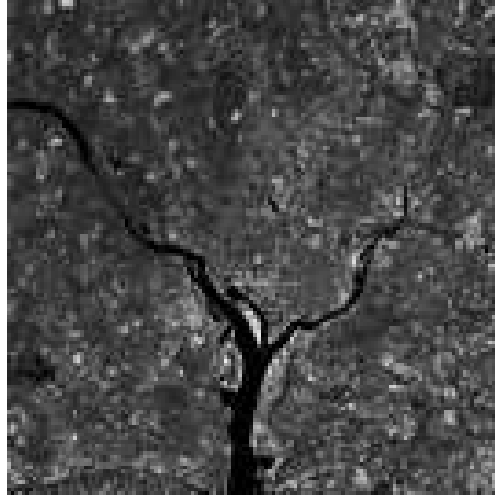


Şekil 2.25 Işın Mikroskobu ile Görüntü İşleme Örnekleri(Gonzalez ve Woods., 2002)

- a. Anti-kanser (taxol) 250X
- b. Kolesterol 40X
- c. Mikro İşlemci 60X
- d. NikelOksit Film 600X
- e. MüzikCDsi yüzeyi 1750X
- f. Organik kondüktör 450X

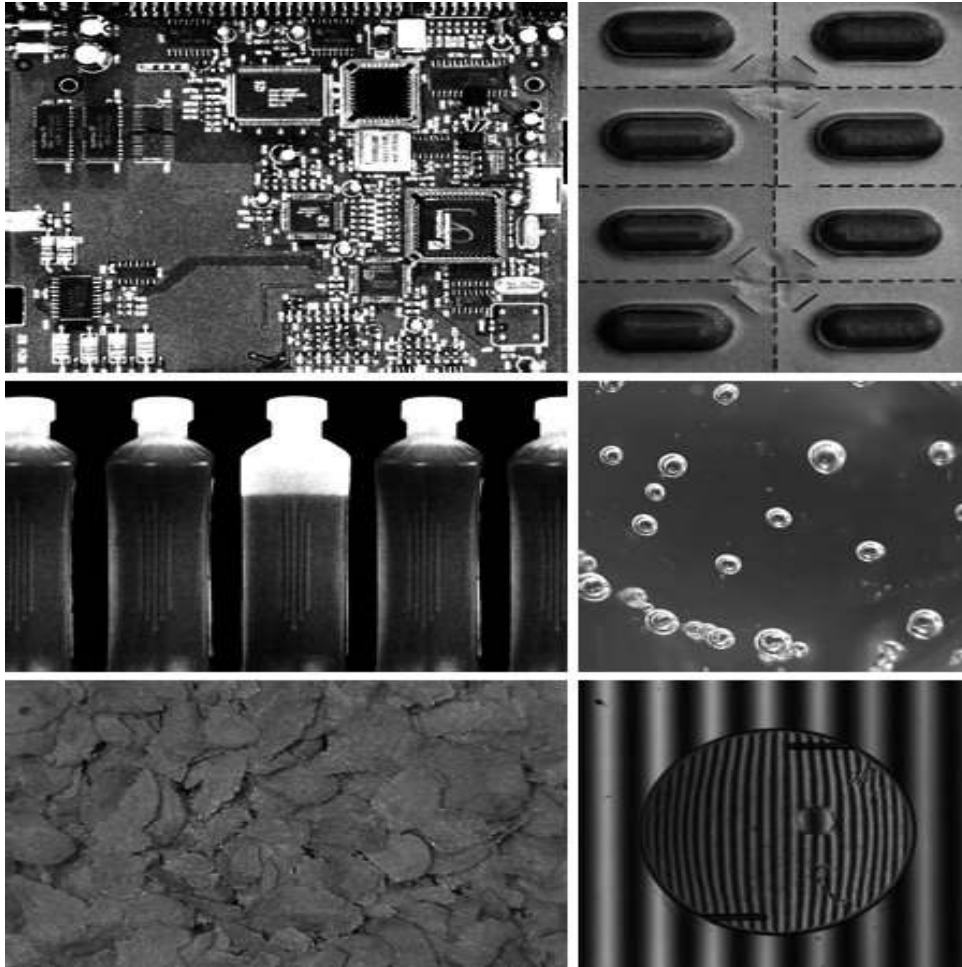
Elde edilen görüntülere iyileştirme ya da ölçümleme gibi görüntü işleme tekniklerinin herhangi biri tarafından uygulanabileceğini söylemeye sanırım gerek yoktur.

Görülebilir ve infrared bantların birlikte kullanılarak görüntü eldesi sağlanan diğer bir uygulamada uzak algılamadır. Bu görüntü işleme uygulamasının ana amacı yeryüzü doğal olayları için uzaydan dünyanın görüntülerini alarak iletmeektir.



Şekil 2.26 Washington D.C uydu görüntüsü, LANDSAT uydusu (Gonzalez ve Woods., 2002)

Görülebilir spektrumdaki ana uygulama alanlarından birisi de otomatik üretim hatlarında ürünlerin görsel taramasıdır. Şekil 2.27 de bu uygulamanın örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.27 Dijital Görüntü İşleme Tekniği Kullanılarak Ürünlerin Kontrolü Uygulamaları (Gonzalez ve Woods., 2002)

Şekil 2.27.a da bir CD-ROM sürücüsünün kontrol devresini göstermektedir. Görüntü işleme tekniğinin burdaki görevi devre üzerindeki eksik parçaları taramaktır. Şekil 2.27.b de ise bir hap ambalajı görülmektedir. Görüntü işlemenin burda görevi eksik hap olup olmadığını tespit etmektir. Şekil 2.27.c örneğinde ise görüntü işlemenin, şişelerin kabul edilebilir bir seviyeye kadar dolu olup olmadığını kontrol eden bir sistemdeki uygulamasını görmekteyiz. Şekil 2.27.d örneği, içinde kabul edilebilir hava kabarcığı sayısından çok fazla hava cebi bulunduran bir plastik parçanın görsel testi için imaj işleme tekniğinin bir uygulamasını görmekteyiz. Bu tür anormalliklerin görsel olarak tesbiti endüstriyel uygulamalar için kaçınılmaz bir testtir ve kumaş, ağaç gibi birçok alanda daha uygulanmaktadır. Şekil 2.27.e örneğinde ise kahvaltılık gevrekleri gibi gıda ürünlerinin testi için görüntü işleme tekniğinin uygulamasını göstermektedir, burda amaç yanmış gıda vb gibi anormallikleri tesbit etmektir. Şekil 2.27.f uygulamasında ise insan gözüne takılan protez bir lensin testi gösterilmektedir. Sonuç olarak tarama işleminde görüntü işleme tekniğinin kullanılmasının genel amacı zarar görmüş veya yanlış üretilmiş olan ürünlerin ambalajlamaya gitmeden önce tesbiti içindir.



Şekil 2.28 Görülebilir Sprektrumda Dijital Görüntü İşleme Tekniği Kullanımına Ek Örnekler(Gonzalez ve Woods., 2002)

Görünebilir spektrumda yapılan görüntü işleme uygulamaları için son bir örnek de Şekil 2.28 de gösterilmiştir. Şekil 2.28.a bir parmak izini göstermektedir. Parmak izleri rutin bir işlem olarak bilgisayarlar tarafından işlenmektedir. Görüntüyü daha iyi hale getirmek için görüntü iyileştirme tekniklerinin kullanımı, veritabanından muhtemel bir uyuşan parmak izini bulmak için yardım eden görüntü işleme teknikleridir. Şekil 2.28.b uygulaması bir banknotu göstermektedir. Görüntü işleme tekniklerinin bu alanda, otomatik kontrol eden ve sayan para makineleri, hukuk alanında seri numaraların kayıt edilerek takip edilmesi gibi işlemler için kullanılmaktadır. (Gonzalez ve Woods., 2002)

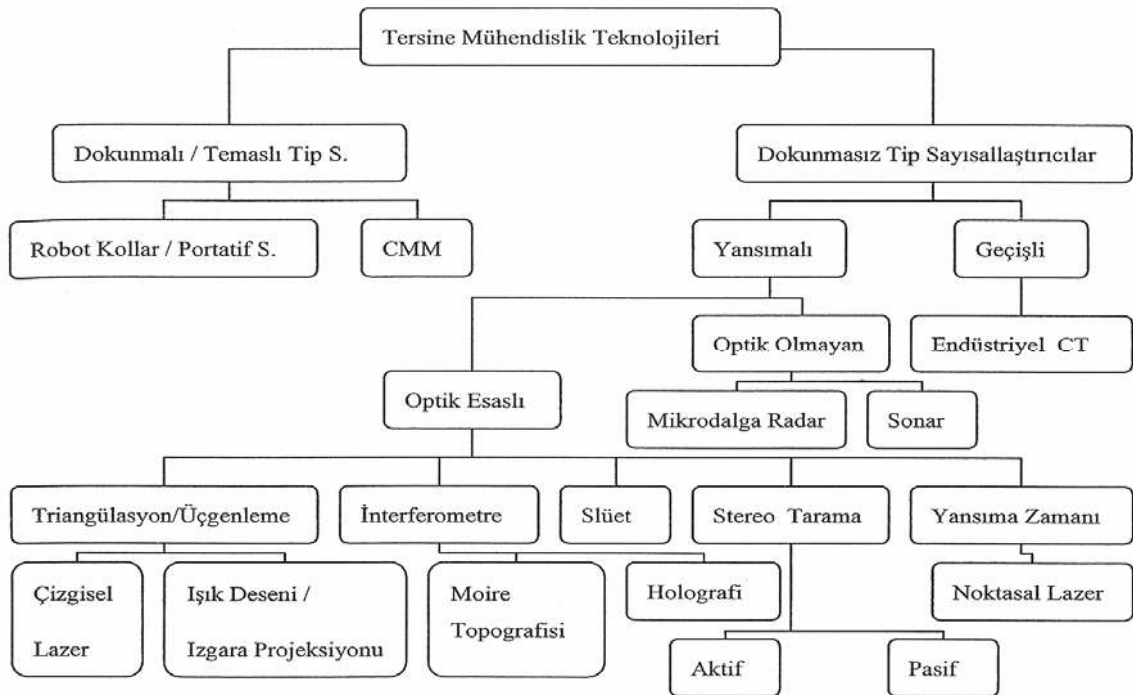
2.5.4 Görüntü işlemenin Endüstriyel Uygulamaları

2.5.4.1 Tersine Mühendislik ve Görüntü İşleme

Nesnelerin üç boyutlu ölçümleri kalite kontrol uygulamaları için vazgeçilmez bir unsurdur. Parça üzerindeki unsurların paralelliği, dikliği ve boyutsal toleranslarının doğruluğunun kontrol edilmesi bu uygulamalar içerisinde yer alır. Bununla birlikte, bu uygulamalar genellikle geleneksel üretim sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkar. Ters mühendislik ise bunun bir adım ötesidir. Aynı cihazlar üzerinde, sadece ölçüm değil, tarama ve sayısallaştırma da yapılabilir. Tersine Mühendislik'te ölçüm ve sayısallaştırma/tarama uygulamaları içerisinde kullanılan cihazları (koordinat ölçme makinaları, sayısallaştırıcı/tarayıcılar vb.) iki ana grupta toplamak mümkündür;

- Temas ederek (Probu) ölçüm ve sayısallaştırma/tarama yapan cihazlar
- Temas etmeden ölçüm ve sayısallaştırma/tarama yapan cihazlar
 - Lazerli
 - Kameralı (Topometrik Görüş) sistemleri (Dereli vd., 2005)

İş parçalarından sayısal veri toplamak amacıyla uygulanan teknikler dokunmasız ve dokunmalı metotlar olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

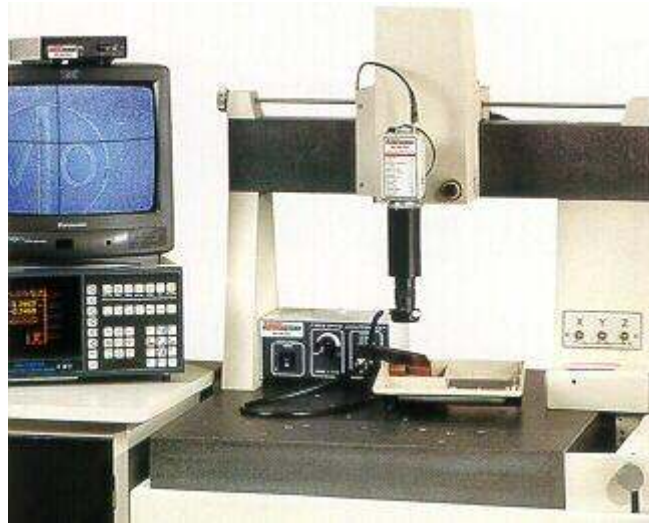


Şekil 2.29 Tersine Mühendislik Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Görür vd., 2003)

2.5.4.1.1 Tersine Mühendislik'te ölçüm ve sayısallaştırma uygulamalarında kullanılan cihazlar

2.5.4.1.1.1 Temaslı (Probu) Sistemler

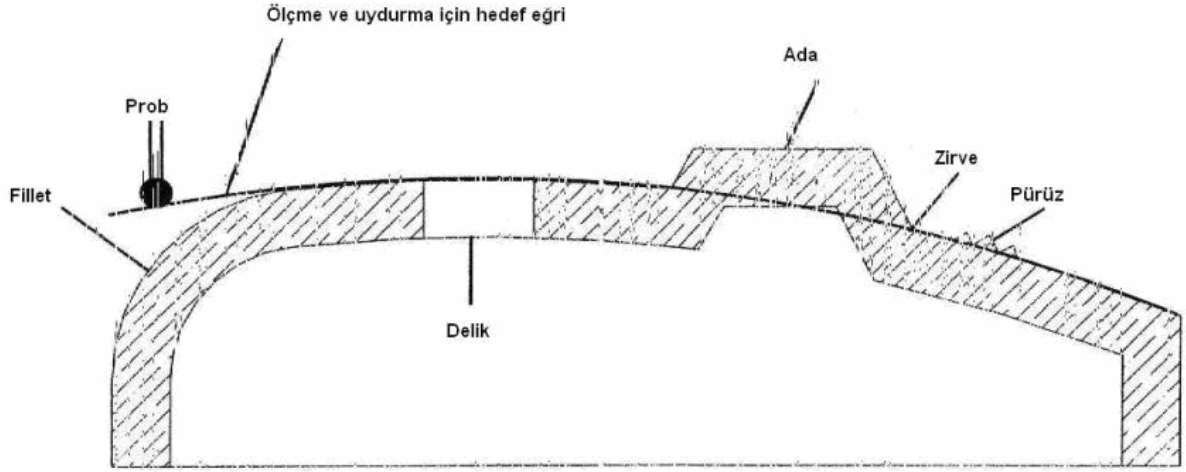
Probu ölçüm cihazlarında, ölçüm kolunun üzerinde elmas sertliğinde bir küre mevcuttur. Bu küre parçanın yüzeyinde, koordinatları belirlenmesi istenen noktaya değdiği anda, kolun üzerindeki koordinat belirleyici sistemi ile, parçanın o noktadaki konumu, iş parçasının geometrik ve boyutsal verileri üç boyutlu uzayda (x, y, z) elde edilmekte ve cihazın üzerinde bulunan bilgisayara aktarılır. Probu sistemin dezavantajı, ölçüm alınabilmesi için probun yüzeye değme zorunluluğunun olmasıdır. Bu zorunluluk parçanın karmaşık şekilli olması durumunda, istenen değerlerin alınamaması sonucunu doğurabilir (Dereli vd., 2005). Kullanılacak prob ölçüm yapılacak yüzeyin pürüzlülüğüne ve şekil karmaşıklığına bağlı olarak belirlenir. Probların mükemmel bir küreselliğe ve sertliğe sahip olması istenir.



Şekil 2.30 Probu Ölçüm Sistemi [18]



Şekil 2.31 Çeşitli Problar [18]



Şekil 2.32 Temaslı ölçmedeki genel sorunlar (Tai vd., 2000)

Şekil 2.32’ de görüldüğü gibi delik, adacık veya pürüzlülük gibi üretimdeki tam kesin olmayan bölgelerdeki veri noktalarını CMM problemleri tam olarak yakalayamaz ve tüm yüzeyi tam olarak yeniden yapılandıramaz. Bu yüzden veri noktalarının işlenmesi ayarlanamazsa, bu problemler CAD modelinin istenmeyen bir şekilde yapılmasına sebep olur. (Tai vd., 2000)

Dokunmasız metotlardan, lazer ölçme sistemleri ve kamera sistemleri en çok kullanılan optik veri toplama teknikleri olarak tanınmaktadır.

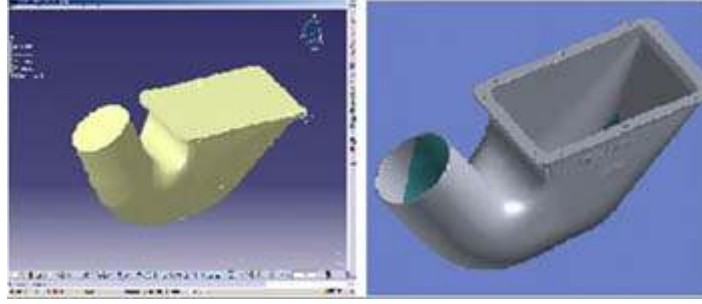
2.5.4.1.1.2 Lazerli Sistemler

Lazerli sistemlerde, ölçüm/sayısallaştırma/tarama bir lazer hüzmesi kullanılarak gerçekleştirilir. Parçanın ölçüm yapılmak istenen bölgelerine yollanan lazer ışını, kaynaktan gidiş ve dönüş zamanının, ışının hızıyla çarpılması sonucu otomatik olarak hesaplanır. Koordinatlar yine kolun üzerindeki bir adım koordinat belirleyici sayesinde alınır. CCD kameralarla veriler alınarak sayısallaştırılmaktadır. Lazerin doğrusal hareket ettiği dikkate alındığında düz-yüzey tabir edilen yumuşak yüzeyli (Arabaların kaportaları vb.) yüzeyler için oldukça idealdir. (Dereli vd., 2005)

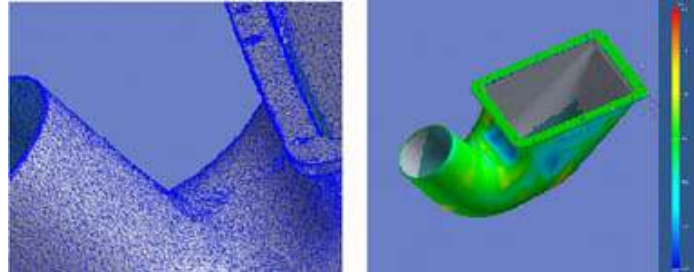
Basit bir kullanım özelliğine sahip olan optik ölçme sistemleri, az yer kaplamakta ve ölçme kafası ile birlikte oturaklı bir yapı şekli göstermektedir. Yalnızca saniyeler süren bir tarama işleminin ardından hassas bir veri kalitesi elde edilebilmektedir. Özellikle son zamanlarda sağlanan gelişmeler sayesinde, söz konusu hassasiyet derecesi giderek artış göstermektedir. Elde edilen tarama verisi bütünüyle ve verimli olarak işlenebilmektedir. Her bir ölçüm işleminin sonunda, veri bütünlüğü açısından geri besleme alınabilmekte ve geometrik özellik

tespiti gerçekleştirilebilmektedir. Online görüntüleme yapılmak suretiyle çekim sırasında parça veya kameranın titremesinden oluşan hatalar anında tespit edilerek yazılım tarafından ölçümün tekrarlanması tavsiye edilmektedir. (Görür vd., 2003)

Bir ızgara projeksiyon uygulamasında, elde edilen sayısallaştırma verisi, iş parçasının daha önceden çizilmiş CAD verisi, nokta bulutunun mesh edilmiş hali ve renkli doku haritasının gösterildiği görüntüler şekil 2.33 ve 2.34’de verilmektedir.



Şekil 2.33 Parça CAD Verisi ile Ölçüm Verisinin Görüntüleri (Görür vd., 2003)

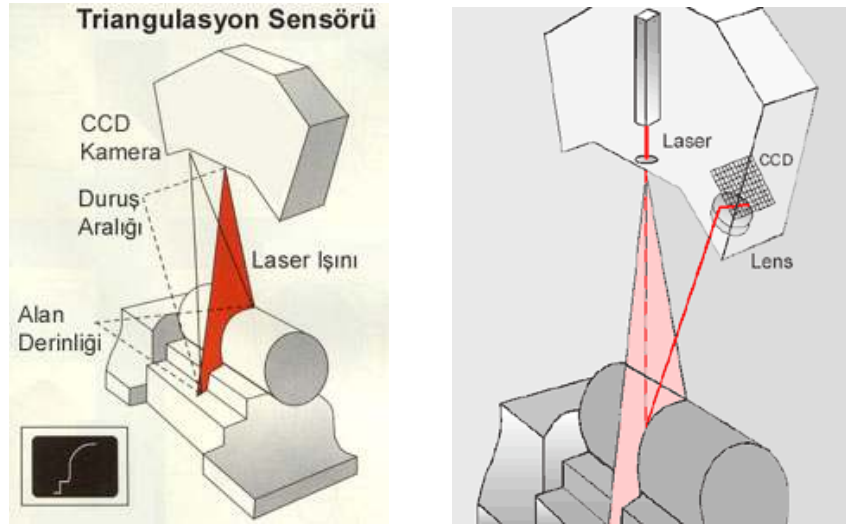


Şekil 2.34 Parçanın Mesh Edilmiş Görüntüsü ve Renkli Doku Haritası (Görür vd., 2003)

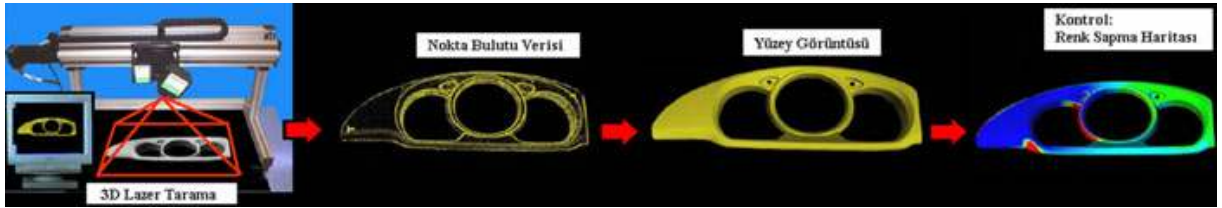
Dokunmasız Lazer tarama metodu, lazer üçgenleme yöntemi ile çalışmaktadır. Bu proste, lazer çizgisi sayısallaştırılacak yüzey üzerine lazer kafasından yaklaşık 2 ½ inç uzunluğunda projekte edilmektedir.

CCD kameraları, lazerden belli uzaklıkta olan parça üzerinden yansıyan lazer ışınının ışığını yakalamaktadır. Lazer çizgisinin X,Y,Z koordinatları trigonometrik olarak hesaplanabilmektedir.

Kullanılan sensöre ve yazılım ayarlarına bağlı olarak, 650' den fazla ve birbirinden bağımsız veri noktası tek bir lazer çizgisinde toplanabilmektedir. Taranmış obje bundan böyle, birkaç yüz noktadan milyonlarca noktaya varan ve genellikle nokta bulutu olarak tarif edilen söz konusu veri noktaları ile temsil edilmektedir. (Görür vd., 2003)



Şekil 2.35 Lazer Tarama Mekanizmasının Şematik Görünümü (Görür vd., 2003)



Şekil 2.36 Lazer Sayısallaştırma Yöntemi (Görür vd., 2003)

Parça üzerinde taranan noktaların sayısı, parçanın büyüklüğüne ve detaylarına bağlıdır. Çok detaylı parçaları tarif etmek için daha fazla noktaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Lazer tarama teknikleri geleneksel tekniklerden daha hızlı veri toplayarak sayısallaştırma proseslerini kısaltmaktadır. Lazerle tarama, kosinüs hatalarından, mekanik prob ofsetlerinden ve prob büyüklüğü ile şeklinden doğan sorunları elimine etmektedir.

Lazer ile tarama yapmanın birinci avantajı, prosesin dokunmasız, hızlı ve koordinat lokasyonlarının direkt olarak taranan obje geometrisi üzerine düşen ışıktan alınması olayıdır. Bu özellik, hassas ve kırılgan parçaların ölçülmesi ve özellikle taranan koordinat lokasyonlarının, yüzey koordinatları boyunca spline eğrileri veya yüzey oluşturmada, CAD/CAM uygulamaları için kullanışlı olmasını sağlamaktadır .

Lazer ışığının yüksek çözünürlüğü ve ince ışını sayesinde, aynı zamanda, mekanik problemlerin giremeyeceği detaylı yüzey geometrilerinden istenilen hassasiyette veri alınması sağlanmaktadır. Otomotiv, uzay, tıp, spor ekipmanları ile oyuncak, elektronik ve mücevher sanayiinde sıkça kullanılmaktadır.

2.5.4.1.1.3 Kameralı Sistemler

Topometrik (Kameralı) ölçüm/sayısallaştırma/tarama sistemleri ise günümüzde gelişmekte olan bir sistem olmasına karşın özellikle çok karmaşık parçalarda çok iyi sonuçlar vermektedir. Topometrik (Kameralı) ölçüm/sayısallaştırma/tarama sistemlerinde, bir üç-ayağın üzerine yada bir robot koluna sabitlenmiş olan ölçüm/sayısallaştırma/tarama kafası, hedef parçanın yaklaşık 70-100 cm kadar ön tarafında tutulur. Ölçüm/sayısallaştırma/tarama sırasında parçanın yüzeyine kenar oluşumlarının izdüşümlerinin yansıtılması sağlanır ve bu izdüşümler, ölçüm kafası içerisine sabitlenmiş olan bir kamera tarafından kaydedilir. Dijital görüntü işlemcisinin yardımıyla üç boyutlu koordinatlar yüksek bir hassasiyetle hesaplanır. Nesnenin tamamının sayısallaştırılması/taranması, birçok ayrı ölçümlerin bir araya getirilmesi ile oluşur ve bazen birden fazla görüş açısı veya bir başka deyişle kamera kullanılması gerekebilir. Günümüzde, yazılım ve donanım teknolojisinin gelişimi zor yüzey ve unsurlara sahip nesnelerin modellerinin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. (Dereli vd., 2005)



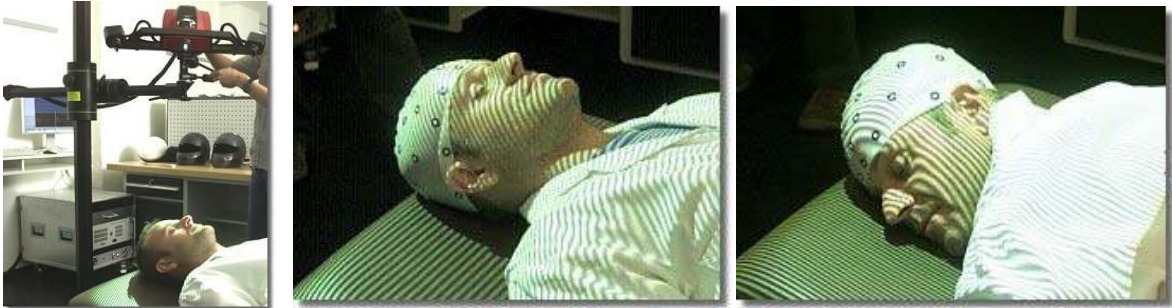
Şekil 2.37 Otomobil tasarımında kameralı tarama adımları [16]



Şekil 2.38 Uçak tasarımında tarama yapılacak bölgelerin belirlenmesi [19]



Şekil 2.39 Uçağın kameralı tarama sistemleriyle taranması [19]



Şekil 2.40 Formula 1 pilotlarının kask tasarımı için kameralı tarama sistemleriyle taranması [19]



Şekil 2.41 Bilgisayara verilerin aktarılması ve tasarımı [19]

3D Sayısallaştırma çözümlerinde, iş parçalarının yüksek çözünürlükteki CCD kameralar vasıtasıyla çeşitli açılardan elde edilen görüntüleri gelişmiş fotogrametri tekniklerini kullanan özel bir yazılım ile IGES ve STL gibi üç boyutlu standart veri formatlarına dönüştürülmektedir. Bu sistemler kullanım kolay, yüksek hassasiyetli ve hızlıdır.

CCD kameralar bir video kamera türüdür. Film yerine, lensler arkasına ışık yoğunluğunu elektronik sinyallere dönüştüren ve bunu direkt bilgisayara transfer edebilen bir CCD (Charge Coupled Device) chip yerleştirilmiş bulunmaktadır. CCD kamera, küçüklüğü, hassasiyeti, sabitliği, düşük fiyatı ve uzun servis yaşamıyla tercih gören bir donatımdır.

İş parçasına temas etmeden çalışan algılayıcılarla ölçüm/sayısallaştırma/tarama işlemi uzaktan çok kısa bir sürede tamamlanabildiği halde, mekanik problemler gibi iş parçasına temas eden algılayıcılar kullanıldığında işleme çevrimi durdurulup pozisyonlama yapılması gerektiğinden, ihmal edilemeyecek bir zaman kaybına neden olmaktadır. Fiyat bakımından incelendiğinde, iş parçasına temas etmeyen algılayıcıların diğerlerine göre oldukça ucuz olduğu görülecektir.

Temaslı/temassız sistemlerin hepsi de temelde aynı prensiple çalışırlar. Hedef bir nokta bulutu elde etmektir. Daha sonra bu nokta bulutu uygun yazılımlar ile birlikte anlamlandırılır, uygun yüzeyler türetilir ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat (CAD/CAM) süreçlerinde kullanılabilecek uygun bir formata dönüştürülür. Böylelikle nesnenin model verileri bilgisayar üzerine aktarılmış olur. Elde edilen yüzey veya katı model üzerinde istenilen değişiklik veya geliştirmeler yapılabilir. Model son halini aldıktan sonra, modelin üretimi için gerekli takım yolları ve CNC parça programı elde edilebilir. Ancak, bu son işlemten önce bilgisayar üzerindeki modellerin hızlı prototipleme makineleri ile ön-gerçek modellerinin oluşturulması önerilir. (Dereli vd., 2005)

2.5.4.1.2 Tersine Mühendislik İçin Kullanılan Yazılımlar

Ters Mühendislik, aslında ülkemizde yıllardır uygulanan bir yöntemdir. Ancak bugüne kadar körü körüne ve tamamen insan gücü ve beyninin bazı kabiliyetlerine dayanarak yapılan uygulamalarda, uygun ters mühendislik yazılımlarının kullanılması da zorunlu hale gelmeye başlamıştır. Piyasada bazı güçlü-ticari ters mühendislik yazılımları bulmak mümkündür. Geomagic Studio, Microsoft Office Visio Professional 2003, CAPPSNT, IMADEWARE NX, CATIA, Rapidform ve CopyCAD bunlardan bazıları olup, Ters Mühendislik ve kitlesel özel üretim konusunda dünyanın en çok tavsiye edilen yazılım paketleri arasındadır. Bu yazılımlar ile fiziksel bir nesnenin üç boyutlu tarama verisi işlenerek üretim için gerekli yüksek

hassasiyet ve kalitede CAD modeli elde edilebilir. Yazılımlar, ayrıca daha ileri düzeyde çözümler elde etmek için sayısallaştırma sistemleri ile birlikte kullanılabilir.

Üç boyutlu tarama ve algılama cihazları ile elde edilen nokta bulutları, bu yazılımlar ile birlikte anlamlandırılır; taranmış nokta verilerden aralıksız üçgen hücrelerden oluşan modeller elde edilir (triangulation/polygonisation) ve daha sonra uygun yüzeyler giydirilir. Doğrulama aşamasından sonra, CAD/CAM süreçlerinde kullanılabilecek uygun bir formatta kaydedilir.

Üç boyutlu yazıcı/model makinaları günümüzde hızlı prototipleme (Rapid Prototyping) makinesi olarak da adlandırılmaktadır. Hızlı prototipleme makineleri tersine mühendisliğin olmazsa olmazlarından sayılabilir. Bu makineler üzerinde üç boyutlu nesneler elde edilmekte olup, bunlar yeni ürün geliştirme süreçlerinde kullanılmaktadır. Ancak, normal yazıcılardan farklı olarak, Dünyada bu cihazları üreten belli başlı birkaç firma bulunmaktadır. Bu firmaların ürettiği makinaların en iyisi şudur ya da en kötüsü budur demek mümkün değildir. Her bir makinanın (teknolojinin) kendine has avantajları ya da dezavantajları bulunabilir. Fiyat-performans ilişkisi, bütçe olanakları ve makinanın kullanım amacı göz önünde bulundurularak optimum bir seçim yapılması gerekir. (Dereli vd., 2005)

IMAGEWARE NX A Class Yüzey Modelleme ve Tersine Mühendislik Yazılımı

• Nokta İşleme

Taramadan gelen nokta bulutları üzerine işlem yapılan kısımdır. Burada nokta bulutundan eğri oluşturmak üzere kesitler alma, gereksiz noktaları silme, ayırık nokta bulutlarını hizalama gibi fonksiyonlar bulunduran modüldür.

• Poligon Modelleme

Nokta bulutlarının Rapid Prototip cihazlarına gönderilmesini sağlamak için poligon modellere çevrilmesi, içinde boşluklar bulunan polygon modellerin düzeltilmesi gibi fonksiyonları içinde barındıran modüldür.

• Yüzey Modelleme (Class A)

Tarama cihazlarından gelen nokta bulutlarına Class A kalitesinde yüzey oluşturmak için çeşitli seçenekler sunar. Bezier ya da NURBS olarak eğri ya da yüzey oluşturulabilir. İleri düzeyde ve dinamik yüzey oluşturma ve modifikasyon gereçleri barındıran modüldür.

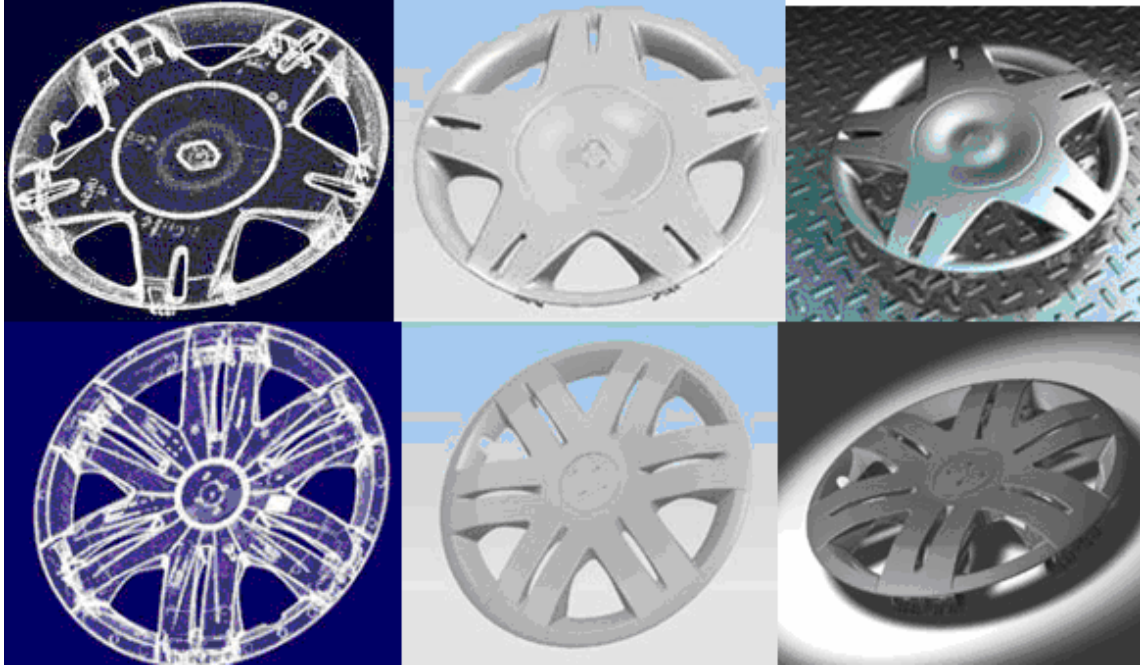
• Eğrilerin ve Yüzeylerin Değerlendirilmesi

Nokta bulutlarından oluşturulan eğrilerin ve yüzeylerin doğruluğunun değerlendirilmesinin yapılmasını sağlar. Eğri ve yüzeylerin ana nokta bulutundan ne kadar sapma yaptığının ölçülebildiği, oluşturulan yüzeylerin yansıma ve eğrisellik analizlerinin yapılabildiği, birbirine bağlanan eğri ya da yüzeylerin arasındaki geçişlerin teğetliğinin ölçülebilmesini sağlayan modüldür.

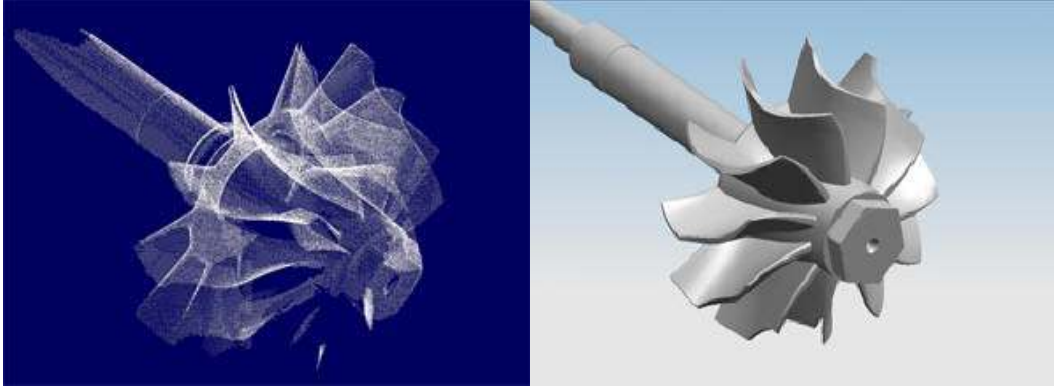
• Kontrol

Modelleme dışındaki kullanım alanı olarak da kalite kontrol örnek gösterilebilir. Bilgisayarda tasarlanan ürün imal edildikten sonra ürün üzerinde tarama yapıp bu tarama üzerinden yeni bir model oluşturulduktan sonra bu yeni modeli bilgisayarda tasarımı yapılan ilk model ile Imageware NX ekranında üst üste koyarak karşılaştırma yöntemi ile kalite kontrol yapılabilmektedir.

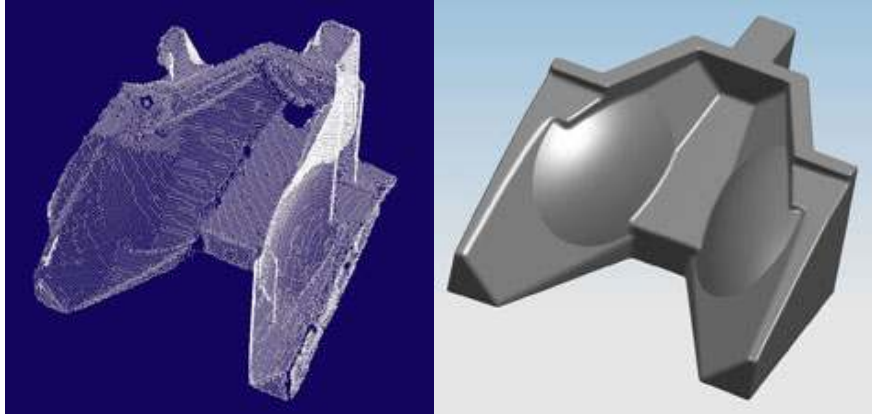
Şekil 2.42 ile şekil 2.52 arasında Imageware NX yazılımının kullanıldığı tersine mühendislik çalışmalarından örnekler verilmektedir. [15]



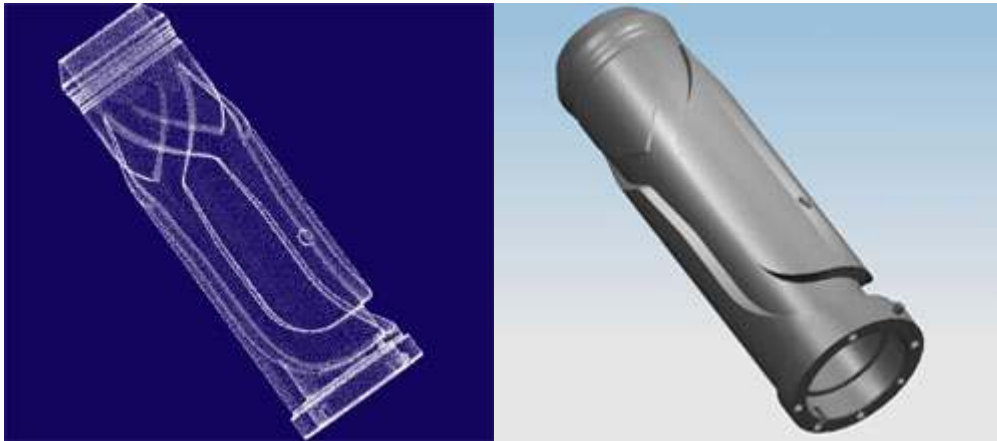
Şekil 2.42 Nokta bulutu olarak taranmış plastik bir jant kapağının 3D CAD modelinin oluşturulduktan sonra foto-gerçekçi görüntüsünün alınması [15]



Şekil 2.43 Nokta bulutu olarak taranmış bir türbin çarkının nokta bulutundan tersine mühendislik ile 3D CAD verisinin elde edilmesi [15]



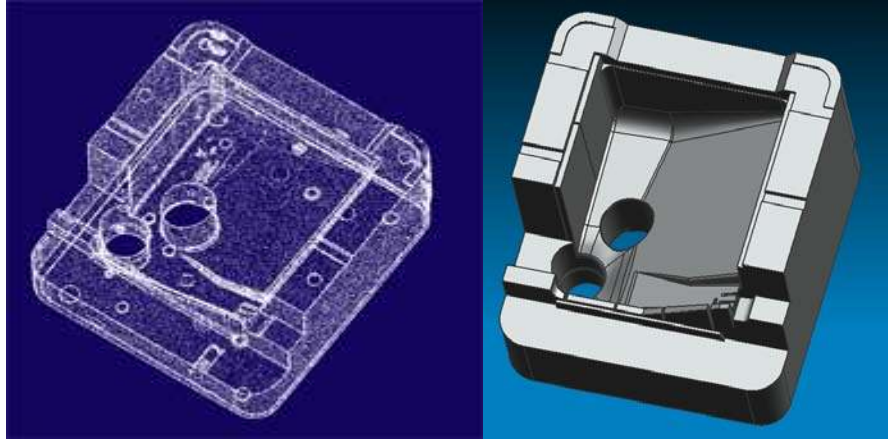
Şekil 2.44 Nokta bulutu olarak taranmış bir yumurtalık kalıbının 3D CAD modelinin oluşturulması [15]



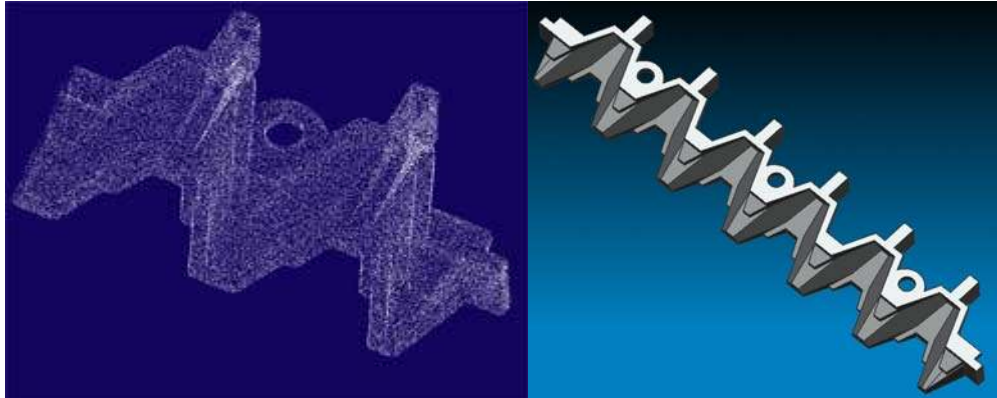
Şekil 2.45 Nokta bulutu olarak taranmış bir malafanın 3D CAD modelinin oluşturulması [15]



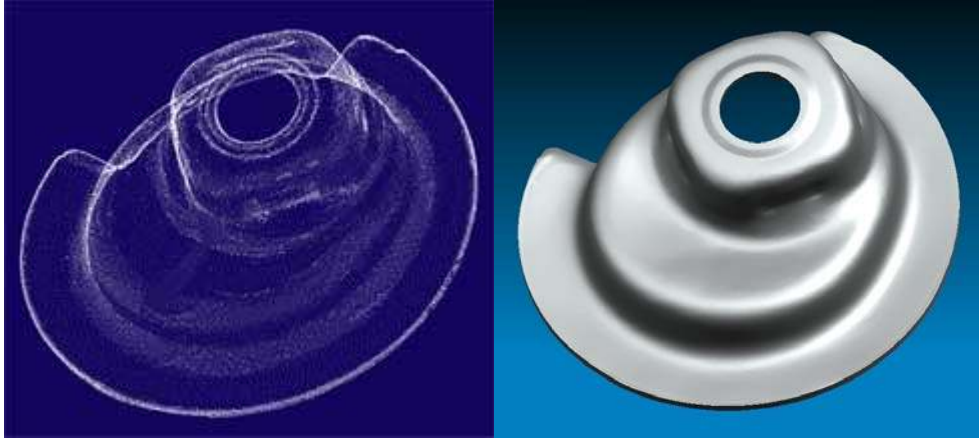
Şekil 2.46 Nokta bulutu olarak taranmış bir debriyaj kapağının 3D CAD modelinin oluşturulması [15]



Şekil 2.47 Nokta bulutu olarak taranmış bir deterjan çekmece kutusunun kalıbının 3D CAD modelinin oluşturulması [15]



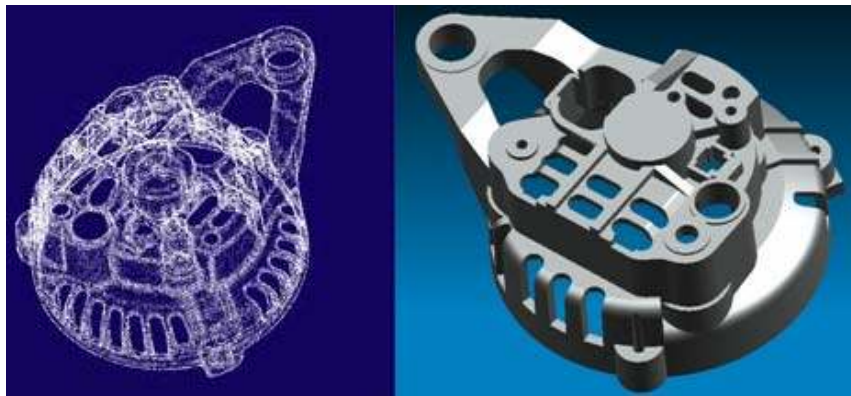
Şekil 2.48 Nokta bulutu olarak taranmış bir yumurtalık kalıbının 3D CAD modelinin oluşturulması [15]



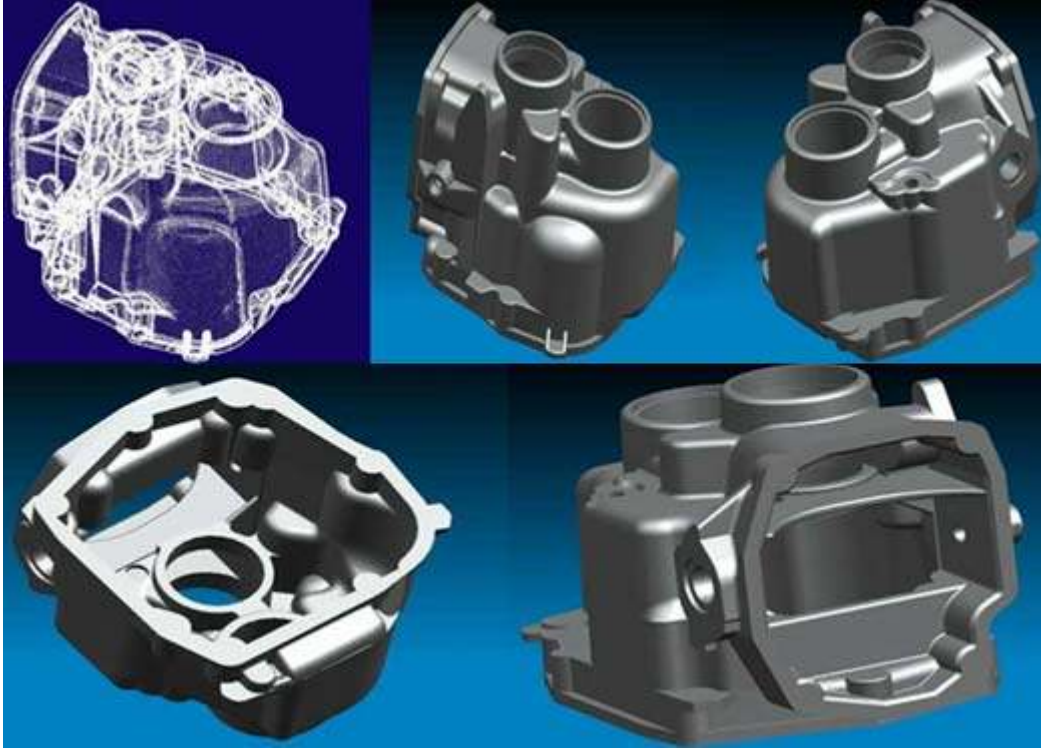
Şekil 2.49 Nokta bulutu olarak taranmış bir sıvama sacın 3D CAD modelinin oluşturulması [15]



Şekil 2.50 Nokta bulutu olarak taranmış jant kapağının 3D CAD modelinin oluşturulması [15]



Şekil 2.51 Nokta bulutu olarak taranmış alternator kutusunun 3D CAD modelinin oluşturulması [15]

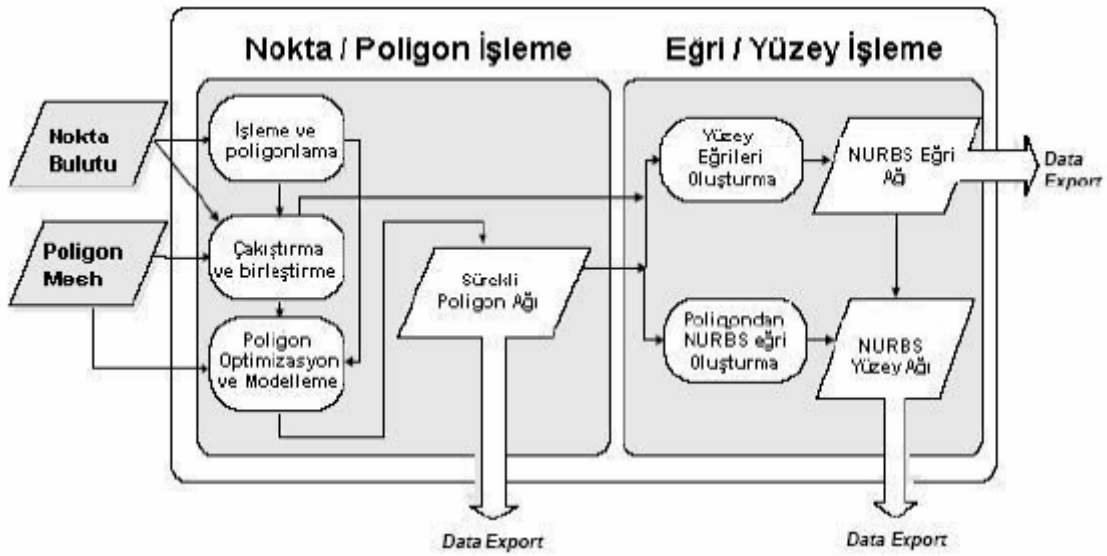


Şekil 2.52 Nokta bulutu olarak taranmış bir vites kutusunun 3D CAD modelinin oluşturulması [15]

Rapidform ile Tersine Mühendislik Uygulaması

RapidForm, 3 boyutlu tarama verisi işleme ve tersine mühendislik için standart bir yazılımdır. 9 modülü sayesinde kullanıcıya tersine mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyabilecek pek çok araç sunmaktadır. Bu modüller Scan, Polygon, Color, Curve, Surface, Feature, Inspection, Exchange ve 3D Imaging modülleridir. Scan Modülü tarama verilerini temizleme, birden fazla nokta bulutunu hizalama, birleştirme ve üçgenleştirme işlemlerini, Polygon Modülü, polygon mesh modellerini manipüle etmek ve çeşitli proseslere hazırlamak için kullanılacak fonksiyon setini sunar. Hızlı prototipleme, 3D grafikler, ya da NURBS gibi uygulamalar için yüksek kalitede poligon ağları yaratmada ihtiyaç duyulan her aracı görsel olarak içermektedir. Color Modülü, 3 boyutlu tarama verileri için en gelişmiş renk kontrolünü sağlamaktadır. Photoshop benzeri renk ve doku düzenleme özelliklerini kullanmak suretiyle kullanıcılar herhangi bir cismin renkli 3 boyutlu modelini yaratabilmektedirler. Dijital fotoğraflar veya herhangi iki boyutlu bitmap formatındaki imajlar Rapidform'da bir 3 boyutlu model üzerinde haritaya dökülebilir. Curve Modülü, çeşitli yöntemlerle NURBS eğrilerinin (splines) poligon ağı üzerinde oluşturulmasını sağlar. RapidForm'daki poligon ağı üzerine sıkıca tutturulmuş eğriler yaratabilme özelliği, bağımsız yüzeyler yapmak için ideal olan özel eğri ağlarının hızlı tasarımını mümkün kılar, ayrıca ileri tasarım ve modifikasyon işlemleri

için bu özel eğri ağlarının CAD ortamına taşınmasına izin verir. Surface Modülü, otomatik yüzey atmanın kolaylığı ve hız avantajını kullanıcı tarafından belirlenen "yama katmanı" (patch layout) hassasiyeti ve kontrolü ile birleştirmiştir. Kullanıcı tarafından tasarlanan eğri ağını (network) esas alan yüzey oluşturma özelliği sayesinde, temizleme ve CAD sisteminde tekrar çalışma için harcanan zaman önemli ölçüde azalmaktadır. Feature Modülü, 3D tarama verisi üzerinde analitik yüzeyleri özellik alanlarına uydurmalarına olanak verir. özellik bölgelerini model üzerinde kısımlara ayırabilir, ve farklı yüz kısımlarının geometrilerine göre tarama verisini her kısmına analitik veya bağımsız yüzeyler oturtabilirler. Inspection modülü, iki tarama verisinin karşılaştırılması, bir tarama verisi ile CAD verisinin karşılaştırılması ve geometrik boyutlandırma, ve tolerans için kapsamlı bir araç grubu sunmaktadır. Detaylı sapma haritaları ve kesit analizleri yapılabilen, çeşitli geometrik boyutlar ve toleranslar da ölçülebilmektedir. RapidForm yazılımı ile üründen CAD verisi oluşturmaya kadar uzanan Tersine Mühendislik sürecini uygulamaya geçerken aşağıdaki akış semasında görülen yollar takip edilmektedir. Bu süreci iki ana kısma ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki, Nokta/Poligon işleme diğeri Eğri/Yüzey işlemedir. Bunlardan ilkinin veri optimizasyonu, ikincisini ise tasarıma yönelik yardımcı öğelerin elde edildiği süreçler olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.53 RapidForm’da Tersine Mühendislik Uygulaması Akış Şeması [17]

RapidForm’da genel olarak tüm tarama verileri için öncelikle yapılması gereken bazı işlemler vardır. Nokta / Poligon işleme bloğundaki bu işlemler CAD model oluşturma süreci için hazırlık işlemleri olarak düşünülebilir. Bu bloktan elde edilen verilerden, CAD modelleme

için yardımcı Yüzey Eğrileri oluşturma ve NURBS yüzeyler oluşturma işlemlerine geçilebilmektedir. Ayrıca bu blokta yapılan işlemlerden sonra elde edilecek Sürekli Poligon Ağı (*.STL formatı) sayesinde hızlı prototipleme işlemine geçilip ürünün ya da parçanın bir numunesi elde edilebilmektedir. İlk öncelik ürünü ya da parçayı doğru şekilde koordinat eksenlerine oturtmaktır. Tasarıma yönelik bu eksene oturtma işlemlerinde kalıp çıkma açıları gibi bazı hususlar dikkate alınmalıdır. Bunlar tarama işleminde oluşabilecek deliklerin kapatılması, fazlalıkların, tarama hatalarının veya gereksiz yerlerin silinmesi, verinin düzenlenmesi ve hafifletilmesi gibi hazırlık işlemleridir. Buradaki amaç CAD modelin oluşturulması için gerekebilecek eğri, yüzey ve kesitlerin hassas şekilde elde edilmesini ve dosya ile işlem yapma kolaylığını sağlamaktır. Ayrıca kalite kontrol işlemlerinde daha doğru ve hassas sonuçların alınması için de gereklidir. Üst, alt, yan ve izometrik görünüşlerin sağlıklı şekilde elde edilebilmesi için koordinat eksenlerinin ve simetri ekseninin oluşturulması gereklidir. Bunun için programda çok fazla seçenek olduğundan aynı parça için farklı yollardan eksene oturtma işlemi yapılabilir. Sonuç aynı olmakla birlikte işlem süresi farklılık gösterebilir. Kullanıcılar deneyimleri sayesinde bu işlem süresini kısaltabilmekte, diğer işlemlere daha etkin biçimde geçebilmektedir. Parçanın simetrikliği göz önünde tutulmalı ve simetrik parçalarda simetri ekseninin bulunması kolaylık sağlamaktadır. Sonraki delik kapama, tarama hatalarının yok edilmesi, fazlalıkların silinmesi, düzenleme ve hafifletme işlemleri veri optimizasyon işlemleridir. [17], [20]

2.5.4.2 Kalite kontrol

Endüstriyel görsel sistemlerin yaklaşık % 70 i kalite kontrolde kullanılır. Özellikle otomotiv ve tüketilir eşya endüstrisinde, kalite müşterinin satın alma kararı için anahtar faktörlerden biri olmuştur. Görüntü işleme yolu ile kalite kontrolün otomasyonu insanlar tarafından yapılan subjektif kontrolü azaltarak kontrol için maliyeti azaltarak kontrolü daha etkin kılar.

Bazen görerek algılama zorunlu olur, örneğin insan kapasitesini aşan üretim hızlarında, % 100 kontrol gerektiğinde. Örnekler; ilaç endüstrisinde tabletlerin kontrolü, yiyecek endüstrisinde yabancı nesneler için şişelerin kontrolü veya dakikada 1000 yağ filtresinin doğru montajının kontrolü. Bu uygulamalar pahalıdır, çünkü üretim hızını korumak için hızlı bir donanım ve pahalı yazılım geliştirmesi gerekir. Tablet kontrolü veya baskı devre muayenesi (PCB) gibi bazı durumlarda yazılımın maliyeti pek çok müşteri arasında bölüştürülür. Uygulamaların esası, çoğunlukla donanımın maliyetini aşan, kendine has yazılım çözümleri gerektirir. Görüntü işleme kalite kontrolde karşılaşılan problemleri geniş oranda çözebilir. Operasyonlar, yüzeylerin kontrolü, PCB muayene, X-Ray muayene, montaj kontrolü veya ahşap muayenesi

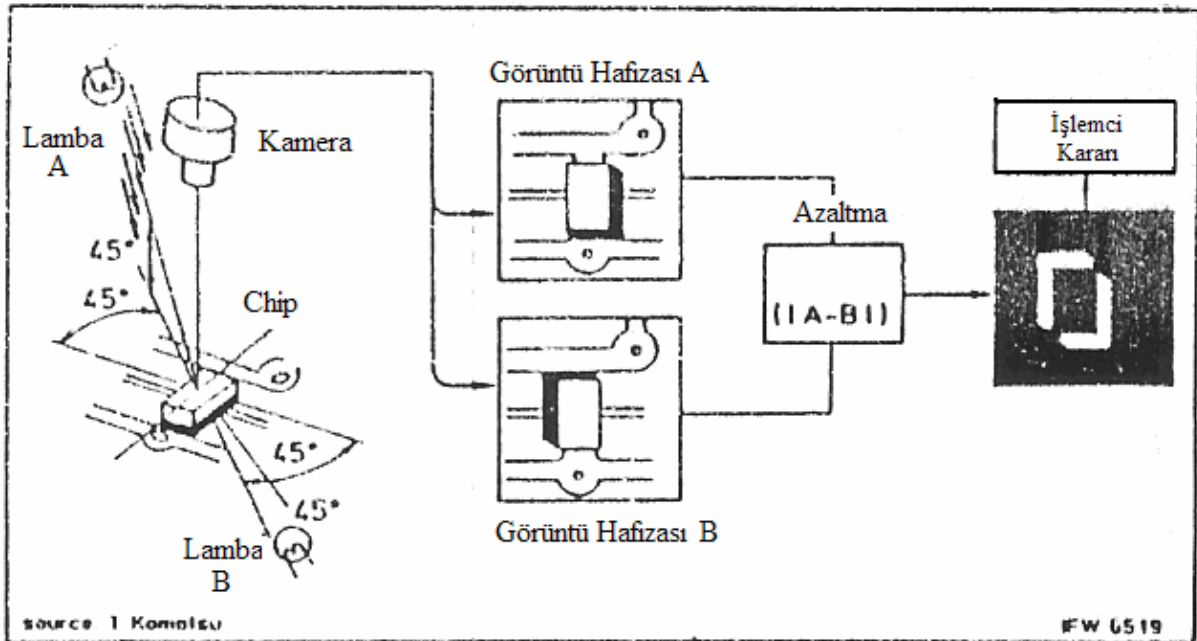
gibi farklı farklı olabilir. Bunlardan bazıları aşağıda anlatılmıştır.

- PCB muayene
- Yüzey kontrolü
- Montaj kontrolü
- X-ray muayene

2.5.4.2.1 Baskı Devre muayenesi

Özellikle cihaz monte edilmiş taşıyıcı yüzeylerin otomatik üretiminde PCB muayenesinde görüntüleme sistemlerinin kullanım sayısı artmaktadır. SMT komponentler üretimi esnasında yanlış yerleştirilebilir veya lehimlemeden önce kaybolabilir. En çok hata, lehimleme işlemi esnasında ortaya çıkar. Yüksek paketleme hızı ve üretim hızı yüzünden, insanlar tarafından yapılan görsel kontrol çok güvenli değildir. PCB ler için muayene sistemleri, eksik veya yerinde olmayan komponentlerin, yerini belirlemeyi mümkün kılar ve bazı lehimleme hatalarını saptayabilir.

Şekil 2.54 de gösterilen SMT komponentlerin gölgelerinin üretiminde ard arda iki yönlü ışık kaynağı kullanarak (Komatsu vd., 1987) ışığın akıllı kullanımı ile muayeneyi basitleştirmiştir.



Şekil 2.54 PCB muayene için ışıklandırma kullanımının avantajları (Komatsu vd., 1987)

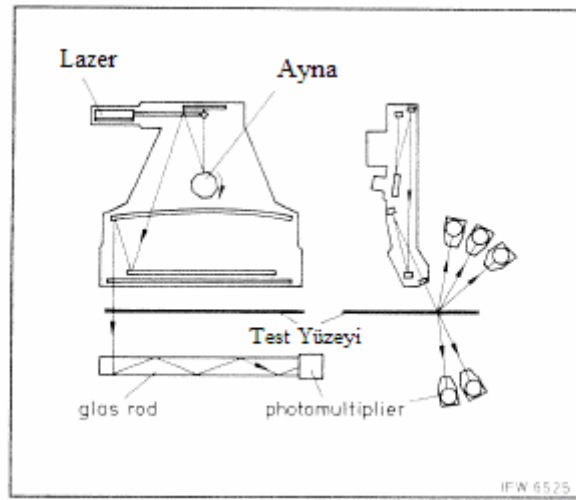
Köprüler ve ince çizgi çatlakları için PCB katmanların muayenesi gittikçe artan bir önem

kazanıyor, çünkü çok katmanlı PCB nin iç katmanındaki kusurlar düzeltilemez. Muayene oldukça yüksek çözünürlük gerektirir, öyle ki sadece levhanın küçük alanlarının ard arda taranması ile uygulanabilir.

2.5.4.2.2 Yüzey Kontrolü

Görüntü işleme ile değerlendirilebilir yüzey şartlarının tipi, metal levhadaki küçük hata belirleme vasıtası ile renk ölçümünden yüzey kabalığına ulaşılır.

Kusurlar genelde o kadar küçüktür ki, yüzeyin boyutları ile kıyaslanır, öyle ki sadece şekil 2.55 de gösterildiği gibi kompleks optik sistemlerle donatılmış makineler, etkili performans maliyeti sunar. (Tonshoff vd., 1988)

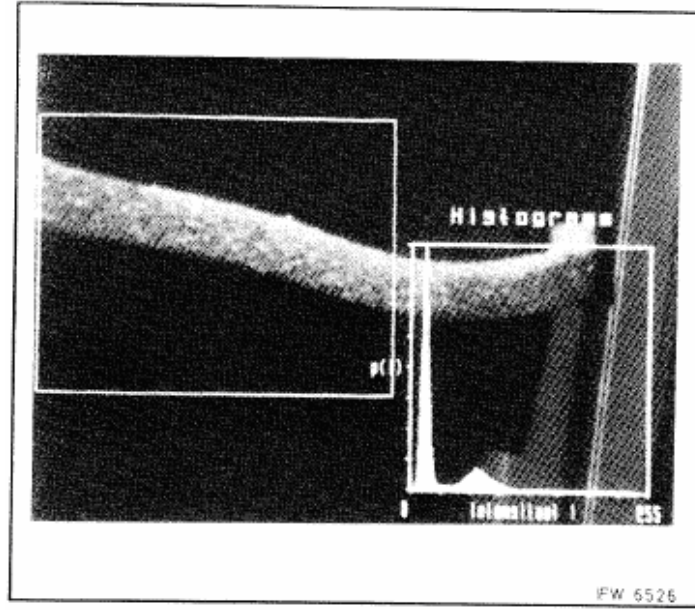


Şekil 2.55 Yüzey Muayenesi için Lazer tarayıcı (Tonshoff vd., 1988)

Gösterilen sistem, levha metal, folyolar gibi ürünlerin yüzeylerini izler ve yirmi farklı yüzey hatası arasından seçer. İstatistiksel analiz, muhtemel işlem sapmaları veya kusurların hızla belirme olasılığını sağlar. Sistemin artan maliyeti, sadece sistemlerin çoklu kurulumu ile ayarlanabilir. (Tonshoff vd., 1988) yüzey kabalık ölçümünde tek aydınlatılan yüzey noktasından, saçılan ışığın dağılımından kabalığı değerlendiren temassız ticari sistemlerle karşılaştırılan sistemde, 2-D görüntünün histogram verileri ile yüzey kabalıkların arasında ilişki kurmuştur. Bu daha geniş yüzey alanından, bilgi elde etmenin avantajına sahiptir.

2.5.4.2.3 Montaj Kontrolü

Montaj kontrolünde parçaların hazır bulunması ve doğru yerleşimi kontrol edilir. Eğer parçanın varlığını kontrol etmek gerekirse, ilgili histogram bölgesinin değerlendirmesi gibi, bağıl olarak basit metotlar yeterli olabilir. (Şekil 2.56) Diğer işler, uzman bir aydınlatma, optik sistemler veya yazılım teknikleri gerektirir. Örneğin; piston segmanlarının derecenin onda birinden az oranda konikliklerin doğruluğunu tahkik etmek gibi. Çapları ile karşılaştırılan segmanların küçük yükseklikleri sayesinde konik şeklin değerlendirilmesi, sadece alt pikselleme metotları kullanılarak, özel aydınlatma ve yazılımla başarılabilir.

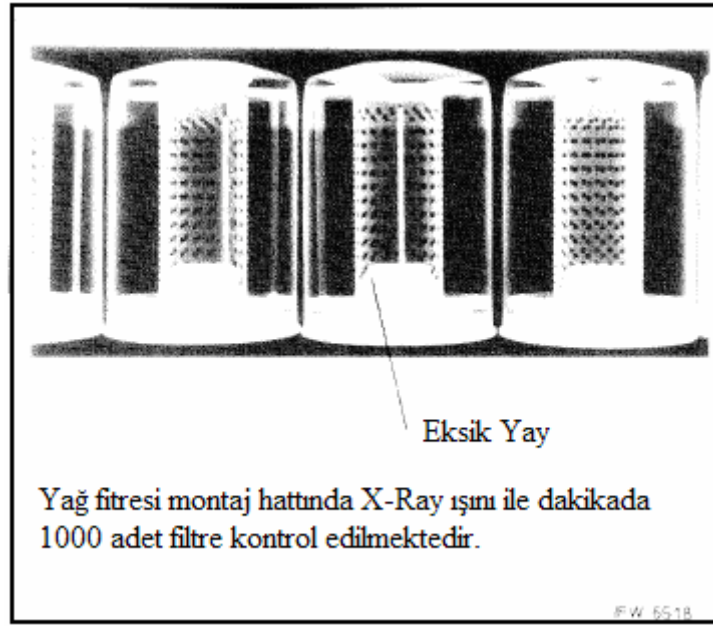


Şekil 2.56 AOI histogram değerlemesi kullanılarak montaj kontrolü (Tonshoff vd., 1988)

2.5.4.2.4 X-Işın Teknikleri

Şekil 2.57 de gösterilen sayısallaştırılmış X-ışın görüntüsünde, (yağ filtreleri), filtrenin alt kısmındaki yayın duruşu kontrol edilmektedir (yay ortadaki filtrede yok). Dakikada 1000 filtre kontrol edilebilir (Tonshoff vd.,1988). Bu yayın yerleştirildiği ve durumunun kontrolü için bağıl olarak basit işle ilgili küçük alanlar sayesinde mümkündür. X-ışın kontrollerin diğer uygulamaları, kaynak dikişlerinin tahrip edici olamayan muayenesi, döküm parçalardaki büzülme hatalarının belirlenmesi ve çok katmanlı PCB lerin tek katmanlarının doğru yerleştirilip yerleştirilmediğinin kontrol edilmesini içerir. Sağlık riski ve ilave maliyet içermesi yüzünden X-ışınlar sadece parça kontrolünün başka bir yolu olmadığı zamanlar kullanılır. Bu genellikle parçaların iç kısmı veya parçaların birleşme yerleri kontrol edilmesi

gerektiği durumlarda olacaktır.



Şekil 2.57 X-ışın muayenesi ile yağ filtrelerinin montaj kontrolü (Tonshoff vd.,1988)

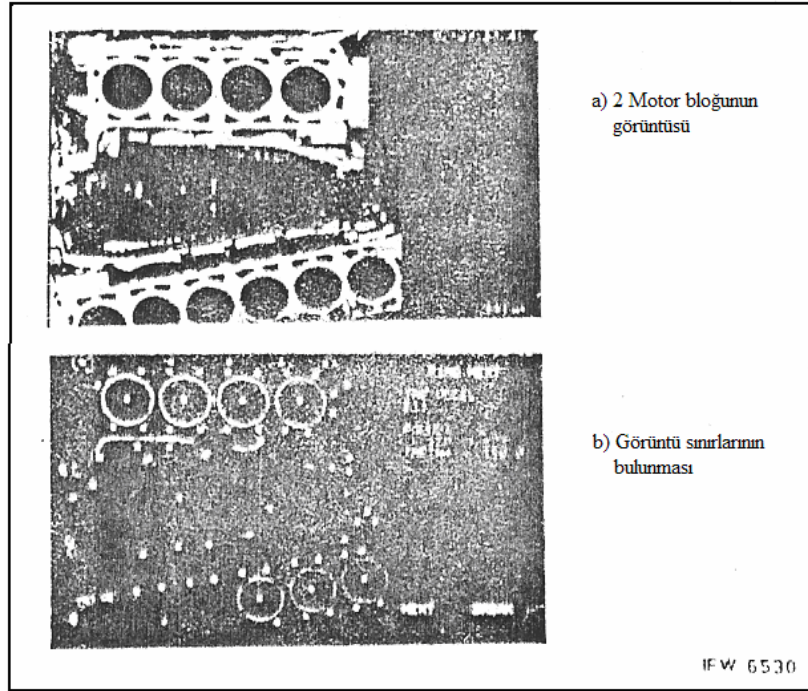
2.5.4.3 Robotlar

Görsel veya dokunmatik sensörler gibi "algılayıcılarla" donatılarak yapılan akıllı robotlar, yıllardır robot endüstrisinin esas amaçlarından biri olmuştur. Bugün parçaların yerlerinin tayini için kullanılan görsel algılama uygulamalarının sayısı hızla artmaktadır. Parçalar kısmen kapatıldığında, gölgeler tarafından saklandığında veya perspektif bozulmalar yüzünden model uyuşması bozulduğunda problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemler 3-D algılama olmaksızın çözülememektedir.

Çoğu robot üreticisi, makine görmesini kendi kontrol sistemlerine entegre etmiştir. Bununla beraber performans ve esneklik genellikle sınırlıdır, çünkü sistemler genelde atelye personeli tarafından kolay programlama için ve yüksek kontrastları olan sınırlara sahip ayrılan parçaları yerleştirmek için dizayn edilmiştir. Eğer görme uygulaması daha yüksek derecede tecrübe gerektirirse, görerek algılama sisteminin dizaynı genellikle görüntü işleme ve otomasyonda uzman araştırma enstitüleri ve üreticiler tarafından ele alınır.

Hareketsiz kamera görüntünün geniş alanı içinde 4 ve 6 silindirli motor bloklarını bulur ve robot eldeki kamera 0.7 mm doğrulukla blokların yerini belirlemektedir. Şekil 2.58 orjinal görüntüyü ve saptanan niteliklerle işlenen görüntüyü gösterir. (Tonshoff vd., 1988)'in bahsettiği hareketli taşıyıcı banttaki nesneleri toplayan sistemde Robot ele bağlı kamera, bant

hızı hakkında ön bilgi almaksızın, taşıyıcı bant üzerinde geçen objeleri izlemektedir. Hız ölçümleri, devamlı olarak izleme esnasında güncelleştirilmektedir.



Şekil 2.58 Motor blokları yerleşimi için görüntü nitelikleri (Tonshoff vd., 1988)

FMS (esnek imalat sistemi) hücresi, robot ve görsel algılama içermektedir. Görüntü analizi rastgele düzende depolanan iş parçalarını tanımak için kullanılır. Görsel algılama sistemi, iş parçalarını FMS hücre içine yükleyen robot için en iyi kavrama (yakalama) pozisyonunu saptar. Kavrama ve yükleme pozisyonuna göre uygun NC işleme programları, ana bilgisayardan çağrılarak robotun görüşü irdelenir. Palette rastgele olarak dağıtılmış takımlar tanınır, onların ana boyutları ölçülür, ve daha sonra montaj hattı üzerindeki magazinlerde sıraya konur. Pek çok robot uygulamasında iki kamera kullanılır, biri görüntünün daha geniş alanı içinde iş parçalarının saptanması için, bir kamerada iş parçası pozisyonunun doğru ölçümü için robota takılmıştır. Bu düzen, bütün parçanın görüntüsünün yüksek çözünürlüğünü gerektiren operasyonları oluşturma yeteneğini muhafaza ederken, parçanın kolay saptanmasına izin vermektedir.

Bazı kısıtlamalarla birlikte metot 0.1 piksel doğrulukla parçanın yerini ve 0.2 derece hata ile konumunu belirler. Çok farklı boyutlu parçaları içeren operasyonlar için farklı kavramalar gerekebilir. CCD sıra takım değiştirme sisteminin robot kenarında monte edilmiş bir sistemde farklı optikler takım tarafında düzenlenir, dolayısı ile herbir kavrayıcıyı kendi kamerası ile donatmaya gerek kalmaksızın kavrayıcıların farklı gereksinimlerine kolaylıkla adapte edilebilir.

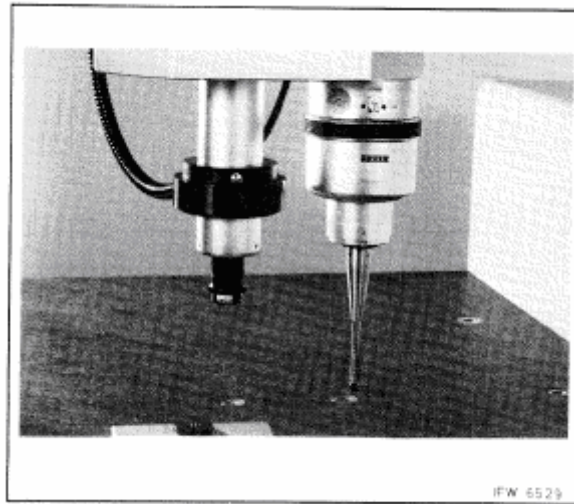
2.5.4.4 Metroloji

3 boyutlu koordinat ölçme cihazı üreticileri kendi sistemlerine görerek algılamayı entegre etmeye başlamıştır. Bunun en önemli avantajı temas olmaksızın algılamadır eğer dokunmatik sensörler kullanılsaydı, esnek objelerin ölçümü sapabilirdi. Ayrıca bu şekilde, film, folyo veya baskılı devre gibi kenarsız düz iş parçaları ölçülebilmekte ve çok ince obje nitelikleri otomatik olarak ölçülebilmektedir.

Şekil 2.59 dokunmatik sensör ve binary görüş sistemi ile donatılmış 3-D koordinat ölçme makinasının ölçüm kafasını gösteriyor. Ölçme odasındaki iyi kontrol edilen aydınlatma koşulları sayesinde binary sistemler genellikle yeterli gelecektir. Gri seviye sistemleri, alt pikselleme teknikleri ile çözünürlüğü arttırmak için kullanılabilir. Altpikselleme için nesne hakkında ilave ön bilgiye ihtiyaç duyulur, örneğin ölçülecek düz çizgi hakkında bilgi. Bu durumda altpiksel doğruluğu çizgiye uygun algoritma ile başarabilir. Altpikselleme olmaksızın bile, ölçme doğruluğu 2 nm kadar yüksek olabilir.

Üçgenleme yöntemi, aşırı küçük, nokta ebatlı ölçülendirme avantajını sağlar, bu suretle dokunmatik sensörlerin yuvarlak uçları ile eşit uzaklıktaki sınırların ölçüm problemlerinden korunulur. Kamera sensör kafa mevcut olduğunda, üçgenleme basit olarak lazer çizgi veya nokta kaynak ilavesi ile başarılabilir.

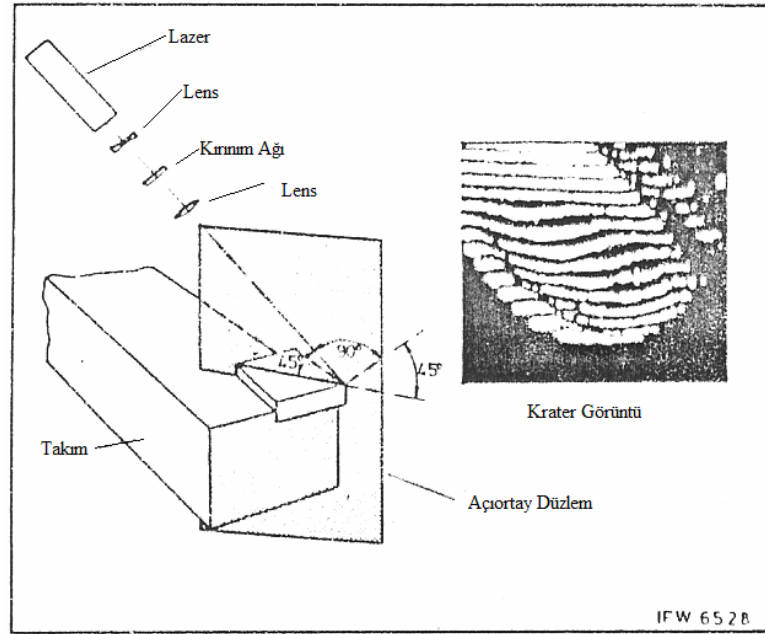
Beş eksen ölçme cihazı kapanma (oklüzyon) yüzünden oluşan ölçme hataları ve problemleri azaltmak için yüzeye dik sensör pozisyonunda kullanılır.



Şekil 2.59 Görsel algılamalı 3-D koordinat ölçme cihazı (Tonsoff vd., 1988)

Takımların Ölçülmesi

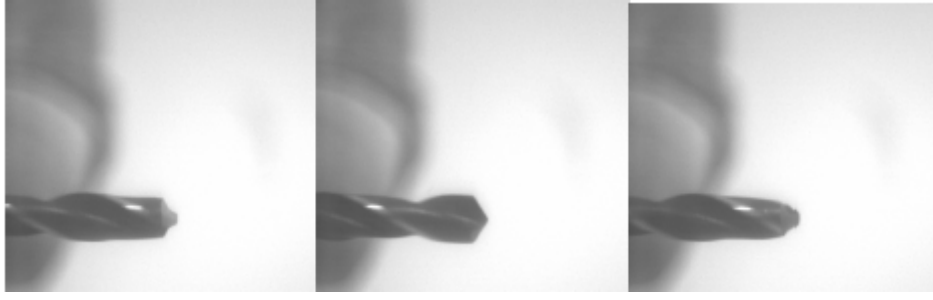
Tamamen otomatik bir üretim arzulandığından, kesici takım aşınmasını izlemek için çok çalışma yapılmıştır. Takım aşınmasının ölçülmesinde en önemli sorun ışıklandırma ve görüntüleme. Yan yüzey ve krater aşınmasını görebilmek için, iki farklı ışık kaynağı kullanılmıştır. Krater aşınması, şekil 2.60 da gösterildiği gibi, takım yüzeyindeki kırınım modeli yansıtılarak analiz edilmektedir.



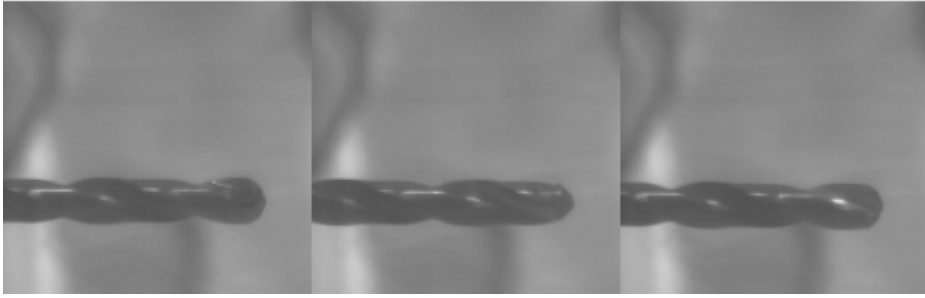
Şekil 2.60 Takım aşınma sensörünün optik düzeneği (Tonshoff vd., 1988)

(Atlı vd., 2005) kesici takımın sağlamlığına görüntü işleme teknikleri kullanarak karar vermiştir. Bu amaçla öncelikle delme işlemi sonrasında malzemeden dışarı çıkan kesici takımın uç yüzeyi Canny kenar bulma algoritması ile bulunmaktadır. Sonrasında kesici yüzeylerin düzlüğü, sağlam kesici yüzeyin düzlüğü referans alınarak değerlendirilmektedir.

Öncelikle kenar bulma işlemine sokulan imge çerçevelerinden elde edilen kenar bilgilerinden kesici takım yüzeyi belirlenmektedir. Kesici takım alt ve üst yüzeyinin düzlüğü temel alınarak oluşturulan metrik, takımın sağlamlığına karar verilirken kullanılmaktadır.

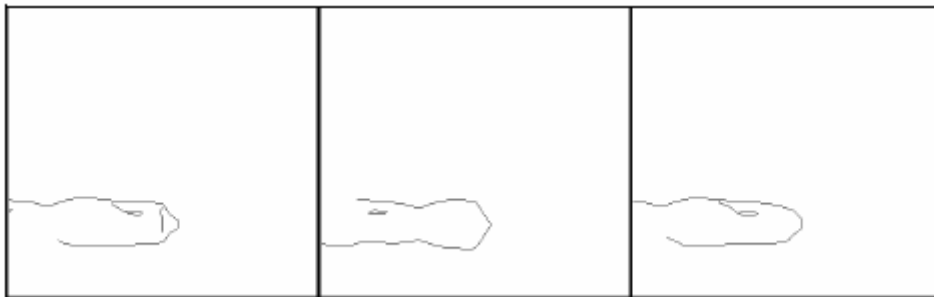


Şekil 2.61 Sağlam kesici takıma ait ardışıl imge çerçeveleri (Atlı vd.,2005)

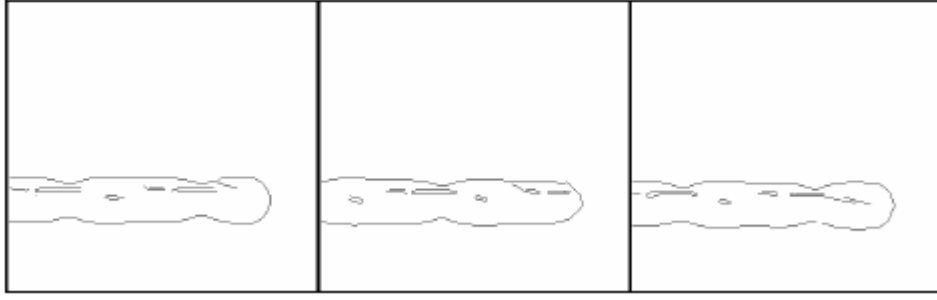


Şekil 2.62 Bozuk kesici takıma ait ardışıl imge çerçeveleri (Atlı vd.,2005)

Şekil 2.61'de sağlam bir kesici takım, Şekil 2.62'de ise aşınmış kesici takım için ardışıl imge çerçeveleri verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi aşınmış kesici takımların en büyük özelliği kesici yüzeylerindeki bozulmalardır. Bu bozulmaların tespiti için öncelikle Canny kenar bulma yöntemi ile kenar tespiti yapılmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen kesici takım kenar imgeleri Şekil 2.63 ve 2.64'de verilmektedir. Uygun seçilen Canny eşik parametresi ile arka plandaki bulanık nesnelerin, kenarlar imgesinde görülmesi engellenmektedir. Kameranın odak noktası, yakın mesafeleri net alacak şekilde ayarlandığından arka plandaki herhangi bir nesne kenar imgesinde görülmemektedir.

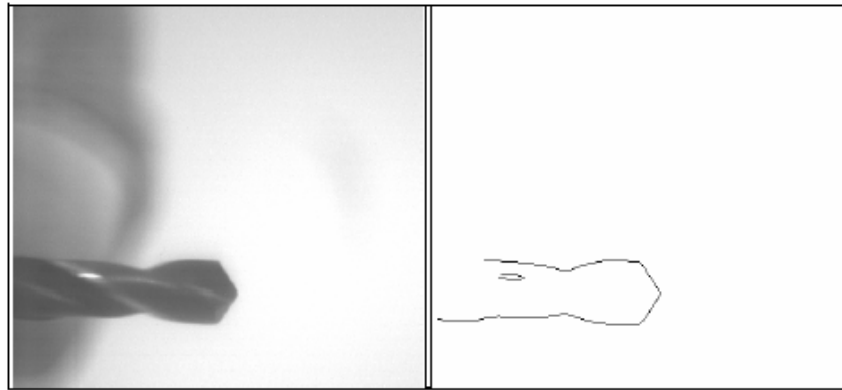


Şekil 2.63 Şekil 2.61 için kenar bulma sonucu elde edilen imgeler (Atlı vd.,2005)

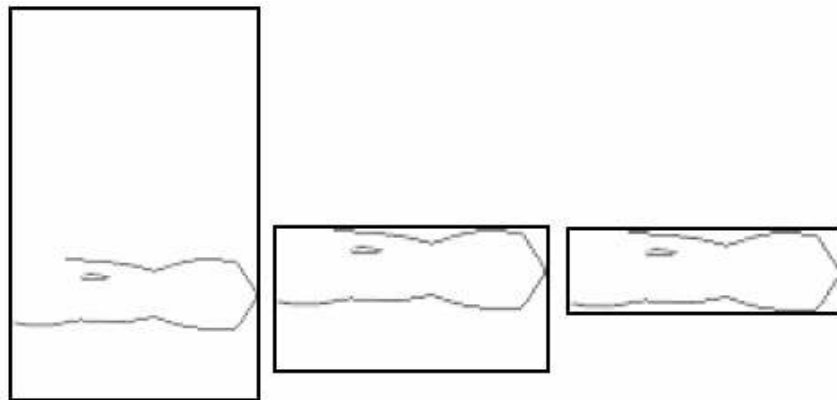


Şekil 2.64 Şekil 2.62 için kenar bulma sonucu elde edilen imgeler (Atlı vd.,2005)

Bu aşamada elde edilen kenar imgelerinden kesici takımının, her bir çerçevede yerinin tespiti edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.65'de örnek bir kesici takım imgesi ve bu imgeden elde edilen kenar imgesi verilmektedir. Kenar imgesinden kesici takımın konumunun tespiti için imgenin öncelikle sağ, sonra üst ve son olarak da alt kenarından yaklaşılarak bulunan ilk pikseller yardımıyla kesici takımın çerçevedeki sınırları belirlenmektedir. Bu aşamalar Şekil 2.66'da gösterilmektedir.

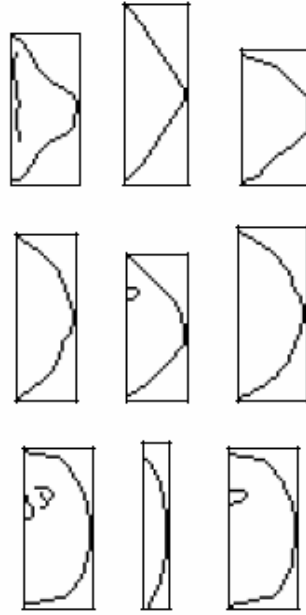


Şekil 2.65 Örnek bir kesici takım imgesi ve kenarları (Atlı vd.,2005)



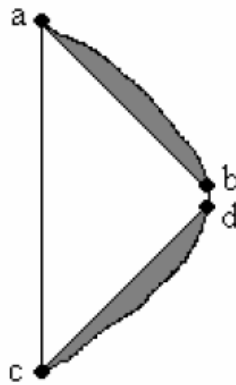
Şekil 2.66 İmgeden kesici takımın konumunun elde edilmesi (Atlı vd.,2005)

Böylelikle kesici takım kenar imgesinden elde edilen kesici takım kenarları bulunmaktadır. Takımın kesici yüzeylerini bulmak üzere öncelikle kesici takım kenarlarına sağdan yaklaşarak eğimin değişimi takip edilmektedir. Hem bozuk hem de sağlam takımlar için kesici yüzeylerin bitiminde, yani kesici yüzeyin köşe noktalarında, kesici takım kenar eğimlerinin aşırı derecede düştüğü bilgisinden yararlanılarak kesici yüzeylerin elde edilmesinde kullanılmak üzere kesici yüzey köşe bilgisi elde edilmektedir. Şekil 2.67’de elde edilen kesici yüzey imgeleri verilmektedir.



Şekil 2.67 Takımların kesici yüzeyleri (Atlı vd.,2005)

Kesici takımın köşe bilgisini kullanarak takımın sadece kesici yüzeyi elde edildikten sonra, hem alt hem de üst yüzeylerde birbirlerinden bağımsız olarak, 2 farklı nokta seçilip bu noktaları birbirine bağlayan doğruların çizilmektedir (Şekil 2.68). Bu doğrular ile (ab ve cd doğruları) kesici takım yüzeyleri arasında kalan alan bilgisi karar metriğini oluşturmaktadır.



Şekil 2.68 Takımların kesici yüzeyleri (Atlı vd.,2005)

2.5.4.5 Hassas Ölçme

Görüntü işleme aynı zamanda hassas ölçme için kullanılabilir. VLSI devrelerdeki fotodirenç çizgi profillerinin ölçümü, nanometre mertebesinde çözünürlük gerektirir ki buda yalnızca elektron mikroskobu görüntüleri ile sağlanabilir. Optik metotlar, nesnenin ölçülecek boyutu, kullanılan ışığın dalga boyuna yaklaştığında kırınımına sebep olur ve kendi faydalı limitlerine yaklaşır. Elektron mikroskobu ile çizgi yüksekliği 0.04 nm hata ile ölçülebilir.

Diğer hassas ölçme uygulamalara örnek olarak bilgisayar hologramının oluşumu için kullanılan çizicilerin test edilmesi ve renklerdeki doğruluk ve geometrik bozulmalar için CRT lerin otomatik değerlendirilmesini verilebilir. (Tonshoff vd.,1988)

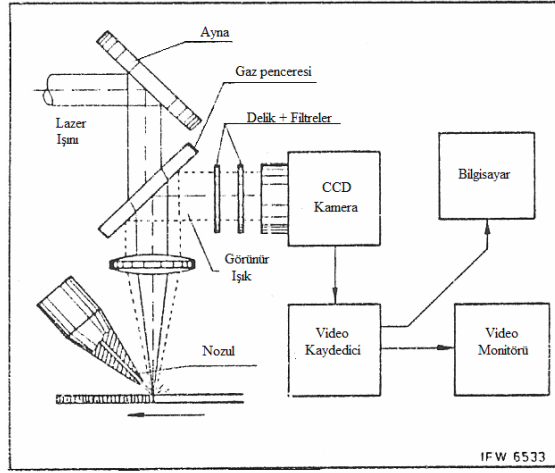
2.5.4.6 Malzeme Akışı

Görerek algılama ya direkt olarak, parçaları belirleyerek, veya kodları okuyarak (örneğin bar kod) malzeme akışını kontrol için kullanılabilir. Basit barkod tarayıcıların hata veya kirli olan etiketler yüzünden okumaları güçleşebilir. Bu onların ağır sanayide kullanılmalarını engellemektedir. Görerek algılama sistemi ile etiketlerin 2-D görüntüsü, geliştirilmiş tanıma oranı ve daha iyi güvenilirlik içinde değerlendirilebilir. Bazı barkod okuma istasyonları iki kamera kullanmaktadır. Geniş açılı kamera, etiketi saptar, telekamera ondan sonra otomatik olarak, okuma için etikete yönelir. Parçaların direkt sınıflaması, bölgeleri, alanların momentlerini, delikler gibi tek olarak belirli nitelikleri veya nitelik listelerini, analiz ederek başarılabılır.

2.5.4.7 Proses Kontrol

Endüstride proses kontroldeki görerek algılama sistemlerinin çoğu, robotla kaynak için kullanılır. Genellikle çizgi ters kaynak ağzına yansıtılır ve iş parçasının ağız genişlik ve yükseklik farkı, üçgenleme yöntemi ile kamera görüntüden elde edilir. Bu bilgi tel beslemesini, kaynak hızını ve gedik üzerindeki kaynak takımının yerleşimini kontrol etmek için kullanılır. Dikiş genişliği ve dikiş yüksekliği gibi bir kaç parametre işlemde ölçülebilir ve kaynağın başlangıcında, dikiş genişliği ve dikiş yüksekliği, dikişi besleyen telin miktarı ile karşılaştırılarak, boşluk saptanabilir.

Şekil 2.69 da gösterilen lazer kesme ve kaynağın kalitesinin değerlendirilmesine izin veren sistem konfigürasyonunda kaynak spotunda direkt olarak görüntüler alınıyor. Daha ileri bir gelişme ile, lazer işlemin on-line kontrolü için düzen kullanmak mümkün olabilecektir.



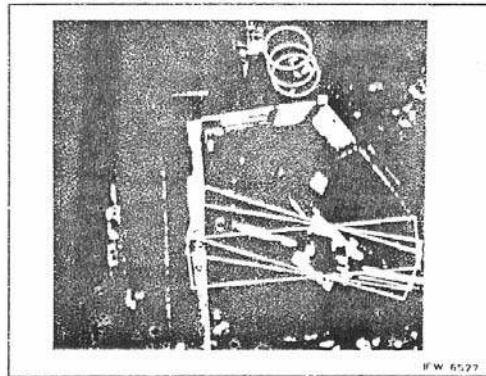
Şekil 2.69 Lazer kaynak işleminin izlenmesi için düzenek (Tonshoff vd., 1988)

2.5.4.8 Otonom Araçlar

Otonom araç uygulamalarına örnek; malzeme taşımak için kendi yol bulan taşıyıcı sistemlerdir. FTS sisteminde fabrikada yere çizilmiş çizgileri saptayabilmek için, gerçek zaman görüntü ile algılamayı kullanarak, hareket eder. Çizgiler sık sık çıkabilir, aralıklı olabilir. Önce araçlar mevcut izler hakkında komple bilgilendirilir ve amaçlarına uygun en kısa izi bulmak için bağımsız olarak araştırırlar. Merkezi kontrol gerekmez ancak radyo yolu ile mümkün olabilecek yeni yönlenme gerekli olabilir. Düşük maliyetleri ve kısa yerleştirme zamanı sayesinde, sistem uzun iletim mesafeleri ve bir kaç araçlı durumlarda çok etkin kullanılabilir.

2.5.4.9 Emniyet Kontrolü

Robotun çalışma alanındaki hareketi görüntü algılama sistemiyle ardışık çerçevelerle kontrol edilir. Şekil 2.70 de gösterildiği gibi, çalışma alanı dışına çıkıldığında sistem durdurulur.



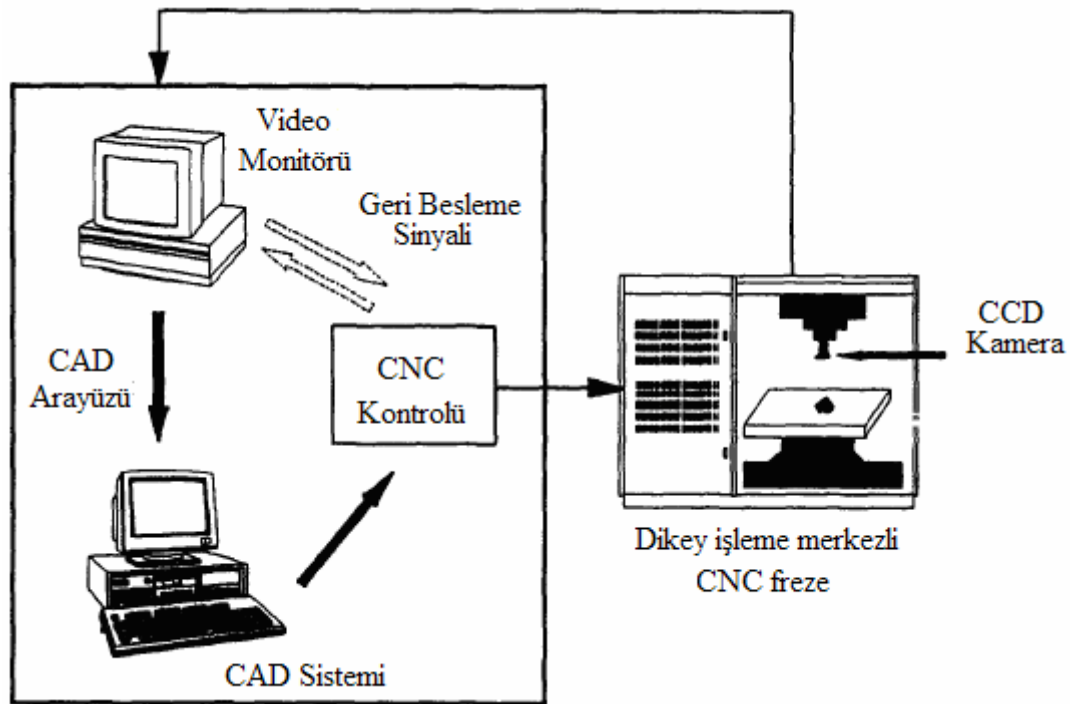
Şekil 2.70 Görüntü işleme ile robot hücrede güvenlik kontrolü (Tonshoff vd., 1988)

3. KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Günümüz mühendisliğinde mühendislik çizimleri bilgisayar destekli tasarım sistemlerinde yaratılmakta ve iyileştirilmektedir. CAD veritabanı Bilgisayar destekli süreç planlama(CAPP) sistemi için ve sayısal kontrollu takım yolu oluşturma yazılımında doğrudan giriş bilgisi olarak kullanılmaktadır.

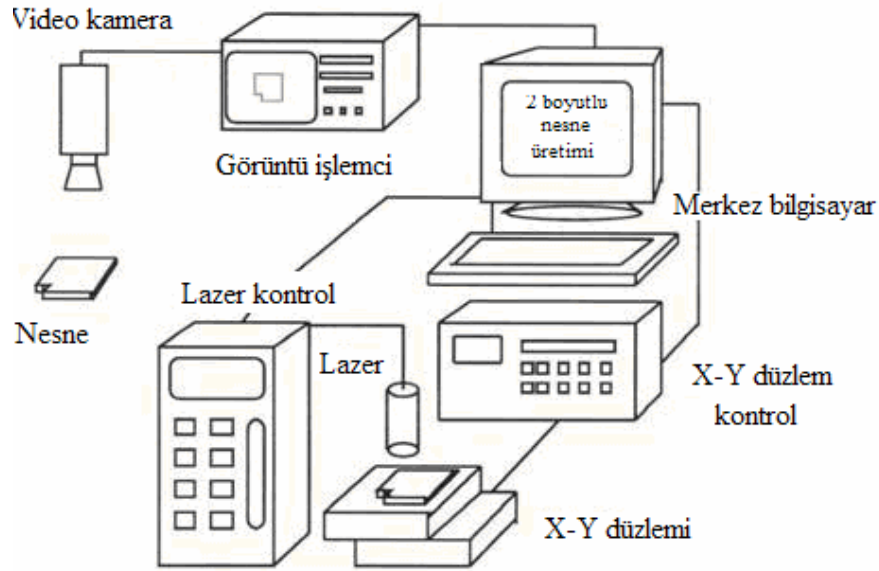
Geliştirilmiş görüntüleme sistemi, tersine mühendislik işlemlerinin isteklerini karşılama durumunda alternatif yol sunmaktadır. Bu sistem tasarımı iyileştirme aşaması sırasında, CAD modelinin yaratılması için yeni bir yaklaşımı kanıtlamaktadır. Bu sistem, taranmış geniş karmaşık şekilli parçaları için uygundur. Parçanın pozisyonlanması için, indeksli CNC tablasının kullanımı daha uygundur (Şekil 3.1). Uçak gövde parçaları gibi düz ve geniş yapı bileşenleri için, bu sistem CMM ya da sayısallaştırma tabletlerine nispeten daha hızlı bir alternatif olarak kullanılabilir.

Yapısal ışıklandırmanın yardımıyla, sistemin yetenekleri, üç boyutlu nesnelerin taranması için genişletilebilmektedir. Sistemin doğruluğu, temel olarak kameranın çözünürlüğüne, görüntünün seçilen alanına ve aydınlatılmasına bağlıdır. (Huang vd.,1994)



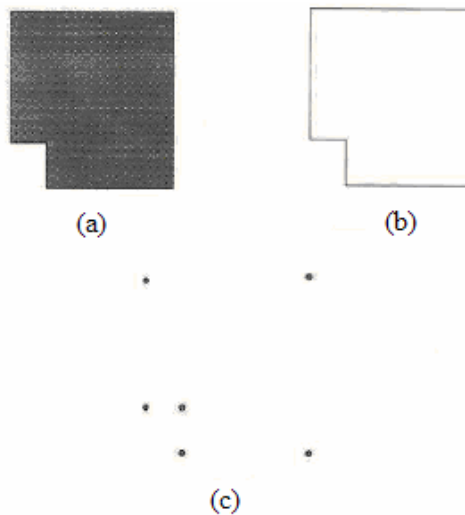
Şekil 3.1 Görüntüleme sistemi (Huang vd.,1994)

(Yan vd.,2003), ise 2 boyutlu parçanın optik yöntemle kenarlarının bulunmasında gerçek görüntüden alınan geometrik bilgiyi kullanmıştır. Yöntemde ölçümü iki adımda yapmaktadır ön işleme ve ölçülendirme. Bu yöntemde gereken resim bilgisini azaltma denilmektedir. Bu uygulamayla tersine mühendislik yöntemlerinin metal sac parçalara uygulanabilirliği kanıtlamıştır.



Şekil 3.2 İki boyutlu nesnelerin üretimi için kurulan bilgisayarlı görme sistemi (Yan vd.,2003)

Şekil 3.3 de görüntünü nasıl değiştiği belirgin bir şekilde görülmektedir, şekil 3.3.c'de görüntü sadece köşe noktalarıyla temsil edilmektedir.



Şekil 3.3 Görüntünün Belirlenmesi (Yan vd.,2003)

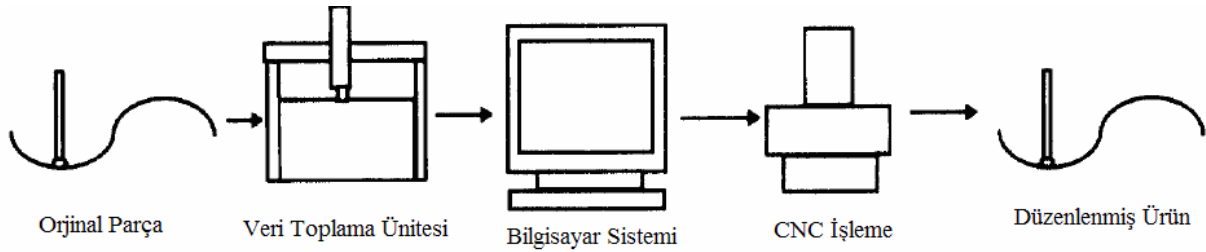
Tersine mühendislik ile iki boyutlu görüntü bilgisinden üç boyutlu şekil yüzeyine dönüşümü

(Peng vd., 1998)'in çalışmasında anlatılmaktadır. Bunun için uyguladığı yöntem yeni bir yüzey çoğaltma tekniği olan gölgelenmiş görüntüleme işlemidir. Bu teknik, kullanıcılar daha az emek ve para harcayarak işlenmiş yüzeyleri düzeltme imkanı tanır. Teknik, temassız çalışma gibi bir özelliğe sahiptir ve çok çeşitli uygulamalarda rekabetçi bir çözüm sunmaktadır.

Ürün tasarımlarının geleneksel üretim metotlarına benzer olmayarak, tersine mühendislik mevcut ürünler üzerinden ölçüm, analiz, modifikasyon ve üretim yapmaktadır. Bu nedenle tersine mühendislik takım ve kalıp endüstrisi gibi alanlarda kopyalama üzerine tamamlayıcı bir süreçtir.

Tersine mühendislik yardımı ile değişik çeşitlilikte ürün tipleri geliştirip üretilebilmektedir. Bu ürün tipleri genellikle uçak kanatları, tribün ve kompresör bıçakları, uzay gemileri için aerodinamik parçaları ve tıbbi uygulamalar için çeşitli ürünleri de içeren karmaşık prototipleri içermektedir. Serbest şekilli yüzeylere sahip eski ürünlerin tasarım bilgilerinin olmadığı durumlarda tersine mühendislik yöntemi kullanılarak bu parçalar tekrar imal edilebilmektedir.

Geleneksel tersine mühendislik yöntemleri verileri toplayan bir makine, bir yazılım ile desteklenen bilgisayar sistemi ve bir CNC tezgahı mevcuttur (Şekil 3.4).

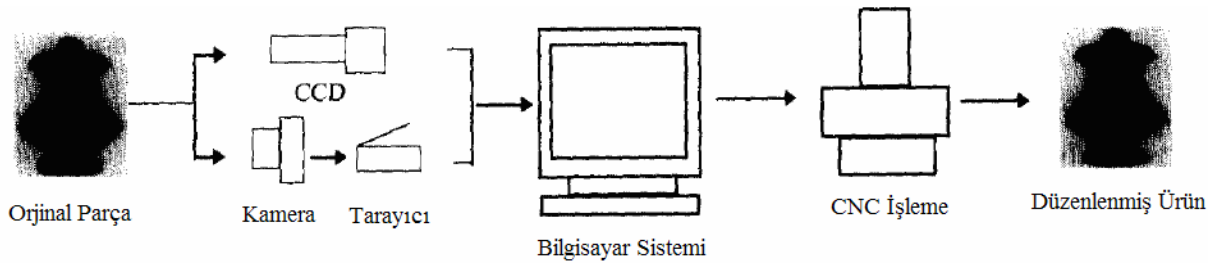


Şekil 3.4 Geleneksel Tersine Mühendislik Yöntemi (Peng vd.,1998)

Burada kazanç, teknik verilerin analiz edilebilmesi ve transfer edilebilmesi tersine mühendislik açısından anahtar elemanlardır. Tersine mühendislikte veri toplama için kullanılan tarama cihazları, kuvvet sensörlü dokunma problemleri ve lazer temelli optik tarama cihazlarını kullanan elektromekanik sistemlerdir. Koordinat ölçme makineleri (CMM) genellikle otomotiv ve havacılık sanayinde kullanılan karmaşık yüzeylerin ölçümünde kullanılmaktadır. CMM'ler boyutsal ölçümlerin vazgeçilmezleri haline gelmiş olup bu sistemlerin maliyeti ve bir yüzeyi ölçmede geçen süre dezavantajları arasındadır. Bunlara ek olarak mevcut CMM teknolojilerinde tetikleyici dokunmatik problemlerin kullanılıyor olması aşağıdaki engellere neden olmaktadır.

- Ürün yüzeyinin hasarlanması
- Parçanın ve probun hasar görmesinden dolayı yanlış ölçümler
- Prob uç telafisinin yanlış hesaplanması

Bu engeller temassız bir görsel yöntem kullanılarak aşılabılır. Görme bizim en kuvvetli hislerimizdendir. Görme bize etrafımızdakiler hakkında hatırlanabilir bir bilgi birikimi vermekte olup bize çevremiz ile zekamızın interaktif bir şekilde hiç bir şeye dokunmadan çalışma imkanı sağlar. Bununla beraber nesnelerin konumlarını belirleyip birbirleri ile ilişkilerini tanımlamakta kolaylık sağlamaktadır. Görsel çevrenin kontrol edilip kullanıldığı yerlerde görsel sensörlü makinelerin kullanılması ile ilerleme kaydedilmiştir. (Peng vd., 1998)



Şekil 3.5 Görüntü Bilgisine Dayalı Tersine Mühendislik İşlemi (Peng vd., 1998)

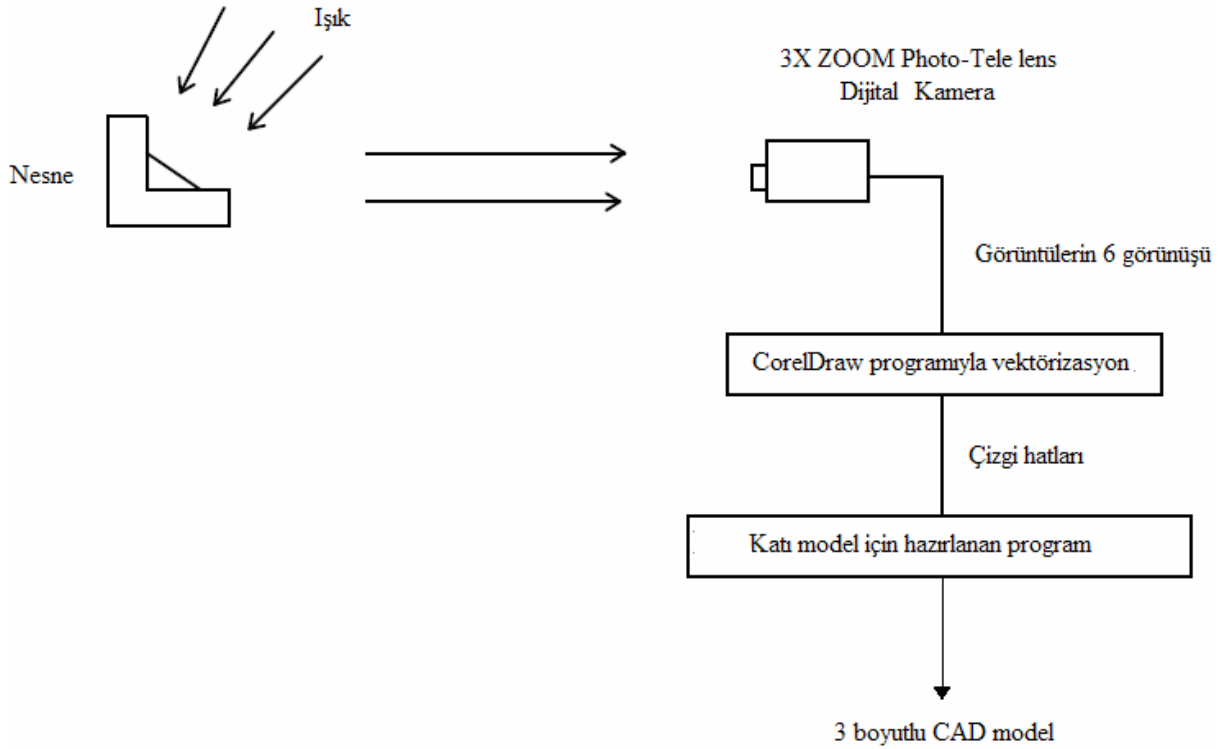
mükemmel bir 3D bilgisayar modeli elde edilir.

Tel kafes sisteminden katı modelleme algoritmasında, altı ortografik görünüşün 2D tel kafes sisteminden yeniden yapılandırılarak bir 3D katı bilgisayar modeli elde edilir. Mühendislik çizimlerinde ekseriyetle kullanılan altı görünüş şunlardır: üst, ön, sol, sağ, alt ve arka görünüşleri. İlk olarak bu altı görünüş 3 çift olarak gruplanır. Görünüşlerin her bir çifti için, iki görünüşten birinin (g-view) bölünmüş alanları, bitişik görünüşteki (d-view) bilgiler doğrultusunda arttırılarak ekstrude edilir. Tüm bu ilkel katılar bir çıkartılmış katı model olarak birleştirilir. Son olarak bütün bu çıkartılmış katı modeller mükemmel bir 3D katı model oluşturmak için kesiştirilir.

Resimler CCD kamera görüntüleme sisteminden daha çok basitçe bir dijital kamera ile çekilir. Katı yeniden modelleme algoritması Auto LISP programı ile uygulanır. Bu yaklaşım tersine mühendislik açısından düşük maliyetli ve kullanımı kolay bir çözümdür.

CAD/CAM/CAE ve benzeri bilgisayar çözümlemelerine uygun geometrik modellerin imaline yönelik artan bir ilgi vardır. Tersine mühendislikte genelde bir bilgisayar modeli bir fiziksel objeden türetilir. CAD model baştan tasarlanmak yerine çoğunlukla var olan bir parçadan oluşturulur ve modifiye edilir. Bu yöntem genelde pahalı bir Koordinat Ölçüm Cihazına (CMM) ihtiyaç duyar. Dahası CMM el ile çalıştırılır ve buda verilerin elde edilmesi için uzun zaman alır. Diğer taraftan, bilgisayar vizyonu kullanmak, CAD sistemi için veri olan bilgiyi anında yakalar.

Geometrik alan, başlıca düz çizgilerden ve dairelerden oluşan çok yüzlülerdir. Opak objenin altı ortografik görünüşüne ait resimler ilk olarak dijital kamera ile çekilir. Resimlerin projeksiyonundaki perspektif etkisini azaltmak için telefotoğrafik lens dijital kamerada kullanılır. CorelDRAW programında resim işlenmesinden sonra bu objenin altı projeksiyon görünümüne ait 'D tel kafes yapısı elde edilir. Sistem interaktif olduğundan resimler bilgisayarda öngörünüm olarak izlenebilir. Resimlerin kalitesi tatmin edici değilse ışık ve aydınlatma sistemi eşzamanlı olarak ayarlama yapabilir. Dijital fotoğraflar, bitmap görüntülerdeki veriyi objenin 2D tel kafes sistemine dönüştüren CorelTRACE yazılımına aktarılır. Bir kere grafikler vektörel olarak ifade edilip ve bu altı ortografik görünümde sıralandı mı, 3D katı model 2D den yeniden modellendirilir. Şekil 3.7 tersine mühendisliğin işlem aşamalarını göstermektedir.



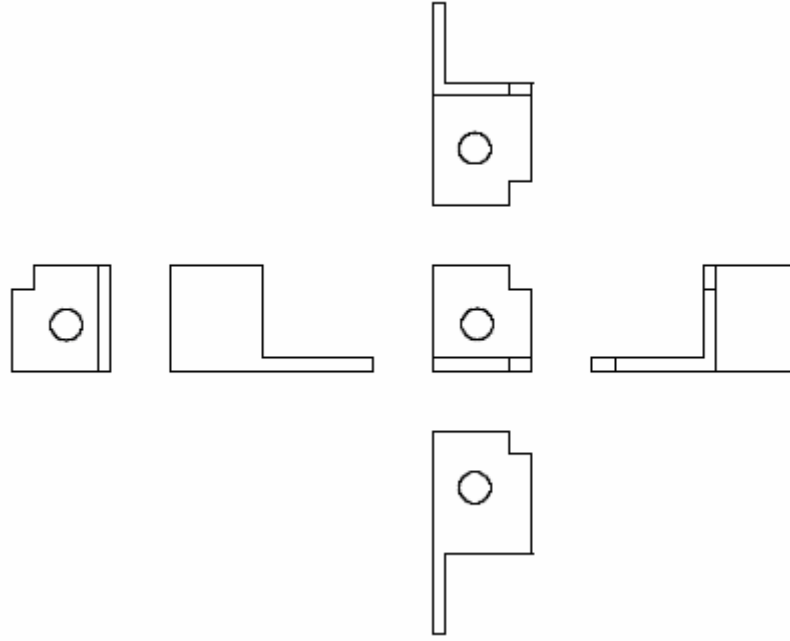
Şekil 3.7 Tersine Mühendislik İşlem Aşamaları (Shum vd.,2005)

Dijital bir kamerada görüntü, dijital kare piksel sıraları içeren bir yük çiftleştirme cihazı (CCD) tarafından gerçekleştirilir. Bu uygulamada, görüntülerin projeksiyonlarındaki perspektif etkisini azaltmak için makrolu, 3X ZOOM lens dijital kamerada kullanılmıştır. Geometrik kesinlikteki kayıpları azaltmak için dijital kameranın çıkışı 24 bit renk ve 1280 x 960 çözünürlük olarak ayarlanmıştır. Bu fotoğraflar kişisel bir bilgisayarda görüntülenebilir. Bu bir interaktif sistem olduğu için, eğer Pc de görüntülenen resimler tatmin edici kalitede değilse (bulurlaşma, koyu resim, aşırı perspektif yada çok aydınlık gibi...) dijital kameranın mesafesi ve pozisyonu, aydınlatma anında ayarlanabilir. Objenin yanına yerleştirilen bir cetvel kalibrasyon için idealdir.

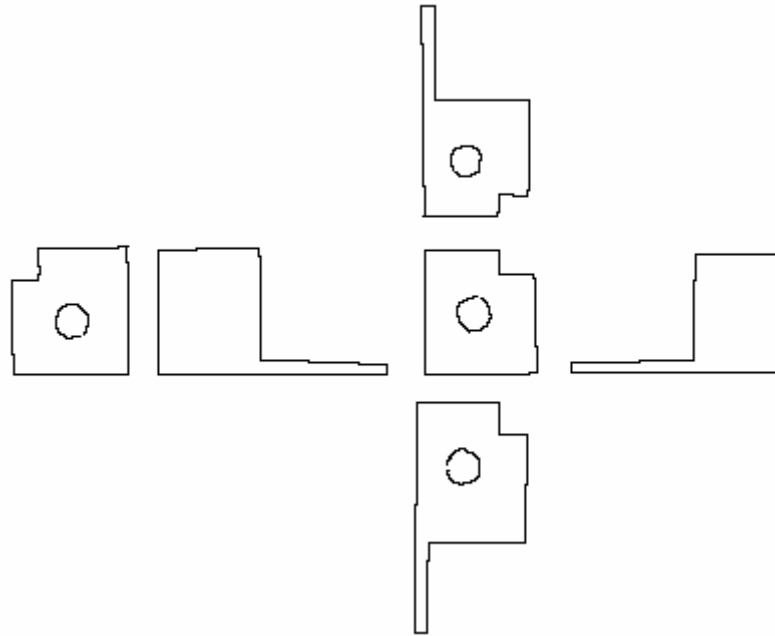
Bitmap görüntüler obje değil de tamamıyla belirli piksel numaraları içerirler. Eğer vektörel olmayan biçimde resmin büyüklüğünü küçültür yada büyütürseniz, bükülmeler yada piksellerin sıkışmasıyla sonuçlanabilir. Grafiklerden kenar elde etmek için bir çözüm de CorelDRAW yazılımıdır. CorelPHOTO-PAINT bitmapler çizilmeden önce rötuş yapmak için kullanılır. Daha sonra CorelTRACE bitmaplerden profil eldesi için kullanılır. AutoCAD arayüzü olarak çalışan .dxf dosyaları bir sonraki aşamada katı yeniden modellemeye kullanılacaktır.

Uygulama için hazırlanmış prototip model Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Dijital kamera

tarafından çekilmiş görüntüler Şekil 3.9’da dır. Görüntüler tel kafes sistem şekline dönüştürülmüştür.

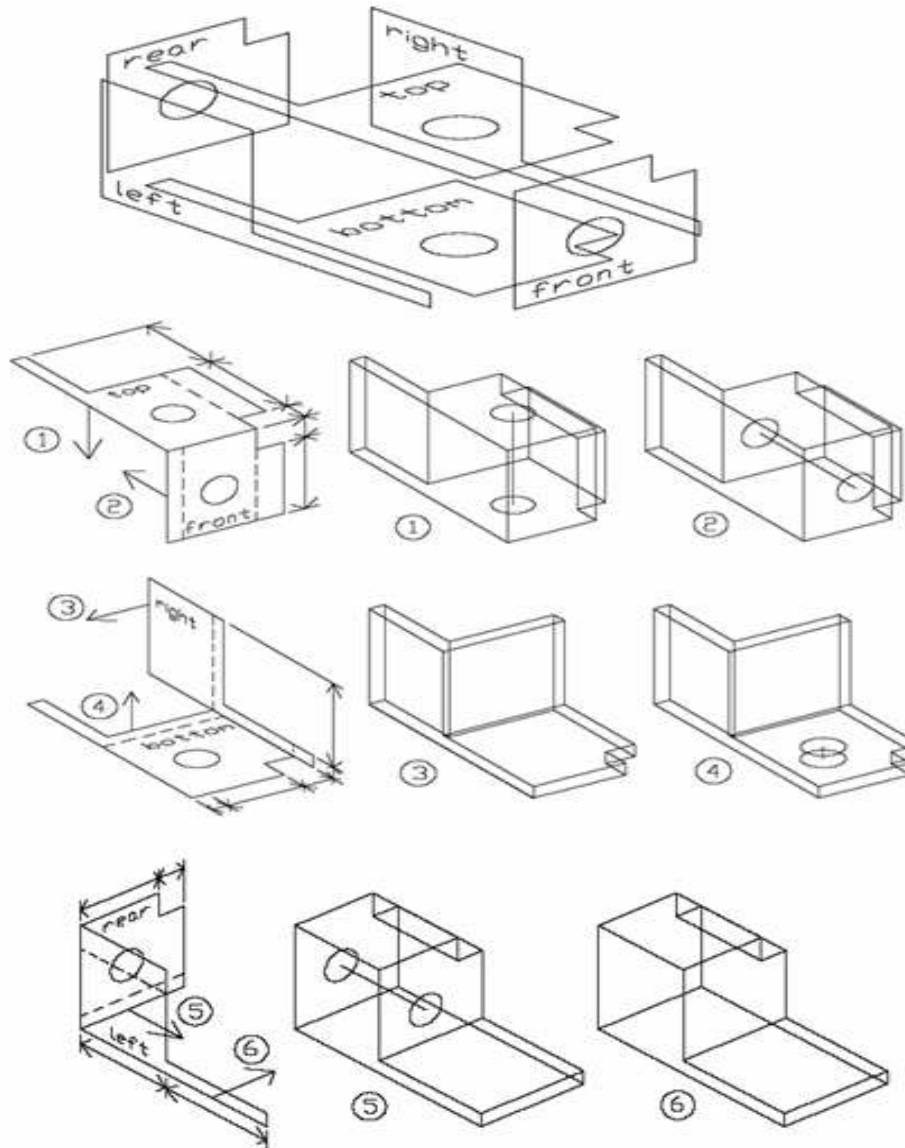


Şekil 3.8 Prototip model (Shum vd., 2005)



Şekil 3.9 Dijital kameradan çekilmiş görüntü (Shum vd., 2005)

Projeksiyonlar altı ortografik görünümün 2D tel kafes sistemidir. Temel olarak doğru çizimlerinde kesikli çizgi olmadığı için obje opakdır. Daha sonra Şekil 3.9’da gösterildiği gibi altı görünüşün grafikleri uygun pozisyonlarda gruplanmış ve yerleştirilmiştir. Tersine mühendislikte 3D katı yeniden modellenmesi için AutoCAD R12 platformunda, AutoLISP dilinde bir program yazılmıştır. Objenin referans düzlemlerini belirleyecek (UCS), kritik geometrileri seçecek ve işlem aşamasında talimatlar verecek olan interaktif bir kullanıcıya gerek duyar. UCS obje üzerindeki 3 nokta ile tanımlanır. Daha sonra program bir görünüşün bütün noktalarını belirler ve diğer görünümün grafiğini birçok dış hatta böler. Bu dış hatlar bu ilk görüntünün kalınlığına göre extrude edilir.



Şekil 3.10 Üç boyutlu katı model oluşumu (Shum vd., 2005)

Dijital kamera kullanan bir tersine mühendislik uygulaması sunulmuştur. Bu yaklaşım daha hızlı obje verileri elde etmeyi ve daha az pahalı dijital kamera ekipmanları kullanılmasına izin vermektedir. Bu program ekstrüzyon algoritmasındaki artışı yerine getirecek kadar iyi geliştirilmemiş ve uygulama esnasında insan etkileşimine gerek duymaktadır. İyileşme için programda daha fazla geliştirmeye ihtiyaç vardır. Objeler genelde üç derinliğe sahip olduğundan, bilgisayar görüntüsü kullanımı çekilen görüntülerde perspektif sorunu yaratmaktadır. Telefotografik lens kullanımı perspektif etkisini sadece minimize eder, yok edemez. Objeyi uzaklaştırmak ve uzun odaklı bir mercek kullanmak alternatif bir çözüm olabilir. Dahası ışıklandırmanın kontrolü de resmin kalitesi açısından kritik bir faktördür ve görüntü işlemenin sonucuna, tersine mühendisliğin performansı kadar etkir. (Shum vd., 2005)

(Shum vd., 2005) gibi (Peng vd., 2002)'de karmaşık geometriye sahip 3 boyutlu cisimlerin çoklu sıralı görüntülerinin birleştirilmesi konusunda çalışmıştır. (Peng vd., 2002), çalışmasının birinci bölümünde, objelerin çoklu açılardan görüntülerinden hızlıca sıralı veri elde etmeye yarayan kendin-yap tipinde optik dijitizeri sunmuş, ve birleştirilmiş koordinat sisteminde çoklu seri görüntülerin hassas kayıtlanması için güvenilir tahminler sağlayan grafik kaydetme prosedürünü tanıtmıştır. Burada, 3 boyutlu uzayda var olan objelerin tüm geometrik modelinin oluşturulması için çoklu görüntülerinin birleştirilmesine yeni bir yöntemi sunuyoruz. Bu makale “çift dikiş çizgi” konsepti kullanan, bir çift seri görüntünün segmentasyonu üzerine bir sınırlanmış üçgenleme yöntemiyle birlikte temellendirilmiştir. Deney sonuçları bu yaklaşımın, bir tersine mühendislik uygulaması olan 3-D görüntüleme ve modellemede ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

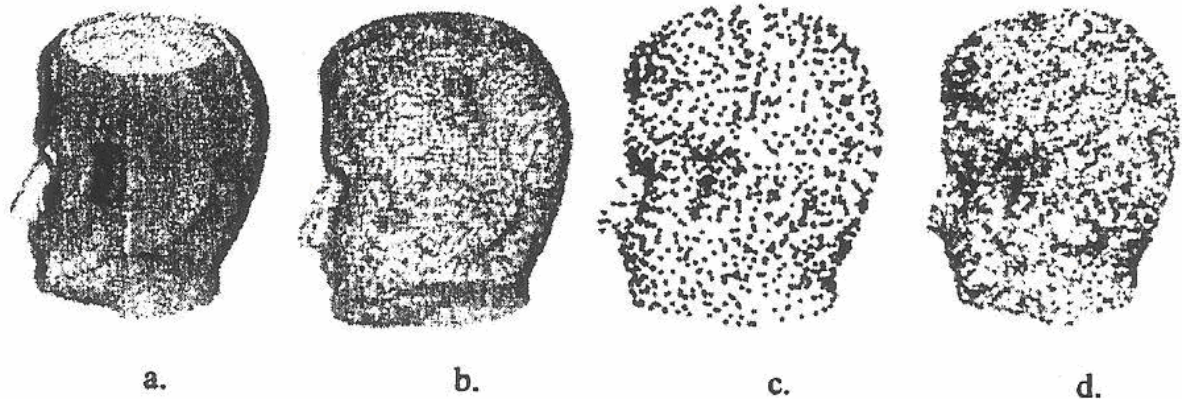
(Peng vd., 2002)'nin çalışması, 3-D görüntüleme ve modelleme yapabilen, hem de fiziksel dünyadaki serbest formlu cisimlerin seri tersine mühendisliğinde, esnek bir yazılım ve donanım olarak sonuçlanmıştır. Seri görüntü elde edilmesi, kalıp projeksiyon ve safha adresleme teknikleri üzerine kurulu bir ev yapımı optik digitizer ile gerçekleştirilmiştir. Değişik görünüş açılarından yakalanmış kısmi seri görünümünün hassas kaydı için güvenilir ilk tahmin sağlayan grafik eşleştirme şemasını ispatlar. Bu yaklaşımla birincil dik çizgileri (PSL) ve ikincil dik çizgilerle (SSL) birleştirilmesi ile seri görüntülerin segmente edilmesini başarmıştır. Böylece seri verileri, yerel zorlanmış üçgenleme prosesi ile birleştirmiştir.

(Peng, 2002)'in yaklaşımının etkililiğini göstermek için, seri veri eldesi ile ilgili deneyler, çoklu seri görüntü kaydedilmesi ve çoklu seri görüntü birleştirilmesini sunmuştur. Örnek olarak alınan heykel başı ile, SLS hızlı prototipleme cihazının yardımıyla tersine mühendisliğin bütün prosesi verilmektedir. İlerki çalışmasının, çoklu seri görüntü

kaydedilmesi için global optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesini ve görüntü birleştirilmesi için daha etkili bir algoritma içereceğini anlatmaktadır. (Peng, 2002)

(Gao vd., 2004)'de yaptığı çalışmada gerçek nesnelerin işlemi sırasında, 3 boyutlu görüntüleme ve modellenme sistemleri gibi (3DIMS) dijital sistemlerden elde edilen bilgiler çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu uygulamada gerçek görüntü sayısallaştırılmak istenmektedir. Tersine mühendisliğe dayalı işlemeden sonra bile sonuçlanan görüntü bilgisayar animasyonlarının taleplerini karşılamayabilmektedir. Deneysel sonuçlar önerilen yöntemin verimliliğini göstermiştir.

Uygulamada ilk adımda 3 boyutlu sayısal görüntü için topolojinin saptanmasıdır. İkinci adım, ağ görüntüsü örneğini basitleştirmektir. Son adım parselasyon şemasının yardımıyla birlikte ekstrapolasyon işlemini içerir. Sırasıyla takip eden üç alt bölümde her bir adım ayrıntılı olarak çalışmada tanımlanmıştır. Şekil 3.11 de 3 boyutlu görüntünün veri indirgenme ve ekstrapolasyon işlemi görülmektedir. (Gao vd., 2004)

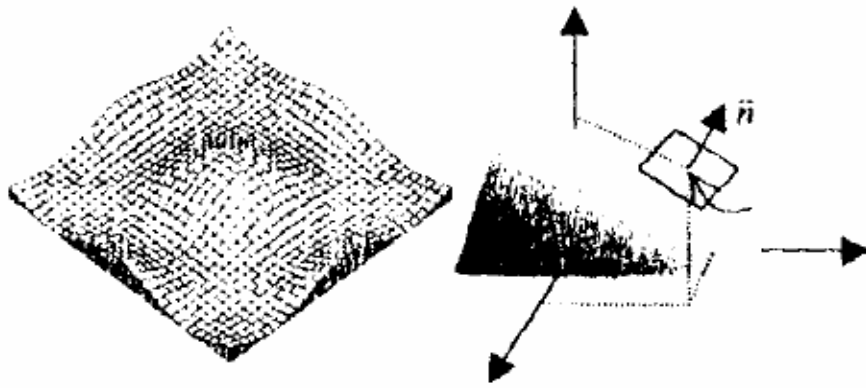


Şekil 3.11 Üç boyutlu görüntü için veri indirgenme ve ekstrapolasyon işlemi (Gao vd., 2004)

Canbek, iki boyutlu gerçek bir görüntüdeki tonlama bilgisine kullanılarak 3-boyutlu biçimin elde etmeyi hedeflemiştir. Bu problem, tonlamadan biçim problemi (Shape from Shading) olarak da adlandırılmaktadır. Gözlenen nesnenin birden fazla farklı görüntüsünün elde edilmesinin zor olduğu elektron mikroskobu görüntüleri ya da astronomi fotoğrafçılığı gibi uygulamalarda biçimi belirlenecek nesnenin tek bir görüntüsü elde olup, biçim hakkında fikir verebilecek en önemli bilgi, görüntünün farklı noktalarında farklı aydınlanma seviyelerinin oluşmasıdır. Bu amaçla, plakalar yöntemi kullanılarak gri tonlamalı gerçek resimden 3-boyutlu biçim oluşturma bir çözüm olarak geliştirilmiştir.

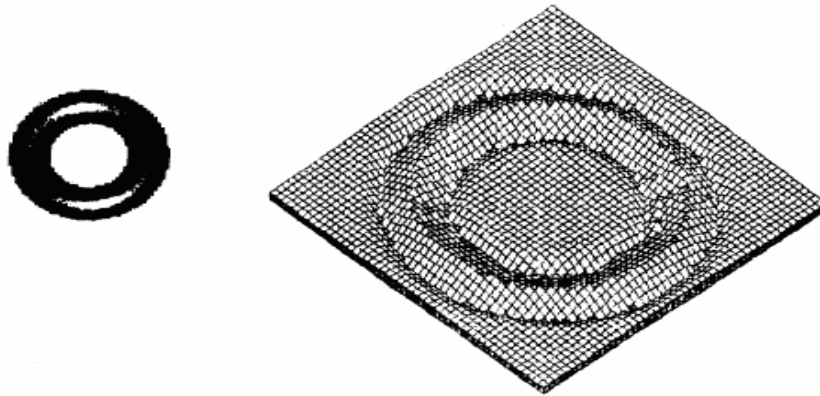
Plakalar yönteminde, gelen resim bilgisi örneklenmiş olduğundan, yüzeyi modellemek için

plakalar kullanılmıştır (Şekil 3.12.a). Şekil 3.12.b’de gösterildiği gibi herhangi bir noktada plaka yüzeye teğet olarak yerleştirilirse, plaka koordinatlarına, plaka normali de yüzeyin plakaya değdiği noktadaki normaline eşit olur. Plakalar yönteminde her plaka, aydınlanma denkleminde verilen diferansiyel denklemin o noktada bir çözümü olacak şekilde yerleştirilir ve plakaların yalnızca çözüm kümesi içinde yönlenmesine izin verilir. Başka bir deyişle, plakalar yöntemindeki her özyineleme diferansiyel denklemin o noktada bir çözümü olacak şekilde yerleştirilir ve plakaların yalnızca çözüm kümesi içinde yönlenmesine izin verilir. Başka bir deyişle, plaklar yöntemindeki her özyineleme diferansiyel denklemin çözüm kümesinin bir üyesidir .



Şekil 3.12. a)Yüzey üzerine alınan örneklerle teğet plakalar yerleştirilmesiyle oluşturulan model b)Yüzeye teğet model (Canbek)

Şekil 3.13’de gerçek resimlerden plakalar yöntemi yardımıyla elde edilmiş yüzey örnekleri görünmektedir.



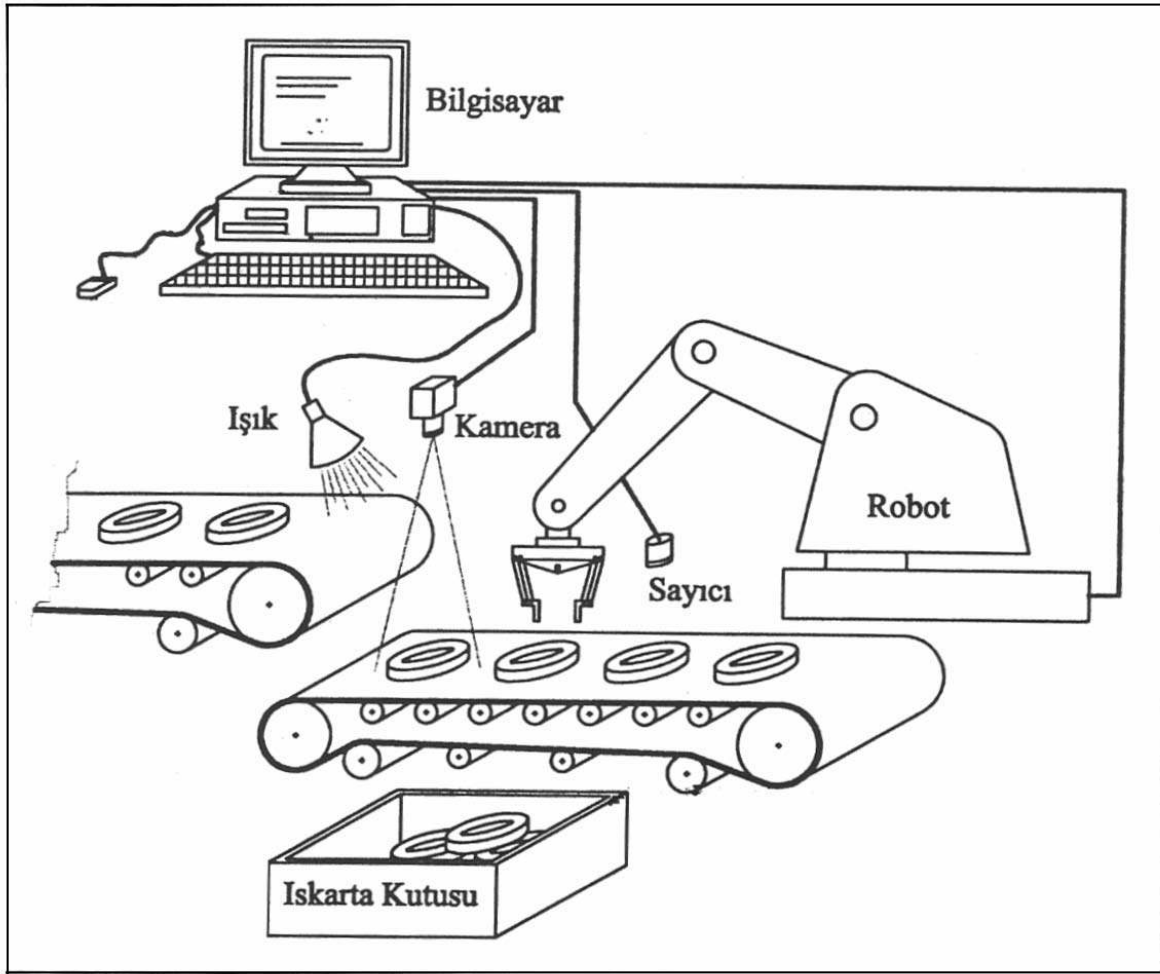
Şekil 3.13 Plakalar yöntemi kullanılarak gerçek görüntülerden elde edilmiş yüzey. Solda girdi kullanılan görüntü, sağda ise bu görüntülerden elde edilmiş yüzey modeli görünmektedir (Canbek)

Elde edilen yüzey bazı durumlarda istenen yüzeyin tersi (tepeler çukur, çukurlar tepe) olabilmektedir. Doğru bir çözüm olan bu ters yüzeyin oluşmasına, karakteristik eğri üzerindeki plakalara komşu plakaların iki türlü yönlenebilmesi neden olmaktadır. Bu durumda karakteristik eğri üzerindeki plakaların komşu plakalarla olan bağlantıları ve yönlenmeleri, aydınlık bilgisinin ikinci dereceden parçalı türevleri yardımıyla belirlenmelidir. Böylece, hata fonksiyonu, buna göre eş aydınlanma eğrileri boyunca daha sıkı olacak biçimde düzenlenebilir. (Canbek)

(Eroğlu vd., 1999), CCD kamera ile görüntü işleme teknikleri kullanarak imalat parçaları üzerinde boyutsal analiz ve kontrol işlemleri yapmıştır. Üretim hatlarında son hale gelmiş parçaların bulundukları ortamdan görüntüleri alarak, elde edilen görüntüler üzerinde görüntü işleme teknikleri kullanarak iki boyutlu bir analiz gerçekleştirmiştir. İkili moda gelmiş görüntü üzerinden nesnenin x eksenindeki uzunluğu hazırlanan bilgisayar programı ile tespit etmiştir. Elde edilen değişik formatlardaki görüntüler gerçek ölçülerle karşılaştırılarak sonuçları irdelemiştir.

Teknolojik yenilikler, yeni üretim araçları ve yeni üretim sistemleri oluşması sağlanmıştır. İmalat parça sayısı çok, üretim miktarı fazla olan ve seri üretim yapan kuruluşlarda parçaların kaliteli, süratli ve zamanında üretilmesi istenilmektedir. Aynı zamanda rekabet ortamında bu istekler büyük önem taşımaktadır. Üretim sistemleri son yıllarda CNC takım tezgahları ve robot teknolojilerinin kullanımıyla büyük ilerleme kaydetmiştir. Bu sistemlerin üretilen ürünün çeşidine göre, değişik üretim birimleri oluşturulmaktadır.

Seri üretim birimlerinde, parça üretim işlemlerinin çeşitliliği, üretimin uzun zaman alması ve ürünlerin kalite kontrollerinin insanlar tarafından yapılması; aynı işleri defalarca tekrarlanmasından dolayı bıkkınlığa ve dikkatsizliğin artmasına, dolayısıyla verimin düşmesine neden olmaktadır. Üretimden daha iyi sonuçlar alınabilmesi için üretim anında, üretimi durdurmadan kontrol edebilme kabiliyetine sahip sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerden biri olan görüntü işleme ile kontrol işlemleri, bu alanda uygulanan en son teknolojilerden birisidir. Üretim birimlerinde üretilen imalat parçasının veya ürünün görüntüsünün alınması, bu görüntünün düzenlenmesi, analiz edilmesi ve istenilen bilgileri görüntü üzerinden çıkarılması görüntü işlemlerinin aşamalarını oluşturmaktadır. Üretim ve montaj birimlerinde tamamlanan parça ve montajların kontrollerinin yapılması için görüntü işleme sistemleri kullanılmaktadır. Böyle bir imalat hücresi Şekil 3.14' de görülmektedir.



Şekil 3.14 Birim İmalat Hücresi (Eroğlu vd., 1999)

Görüntü işleme, üç boyutlu gerçek ortamdaki görüntünün kamera vb. teçhizatlarla alınması, bilgisayar ortamına aktarılması ve görüntü işleme teknikleri kullanarak istenilen uygulamaya göre gerçekleştirilen işlemlerin tümünü kapsar. Bu işlemler üç aşamada gerçekleşmektedir;

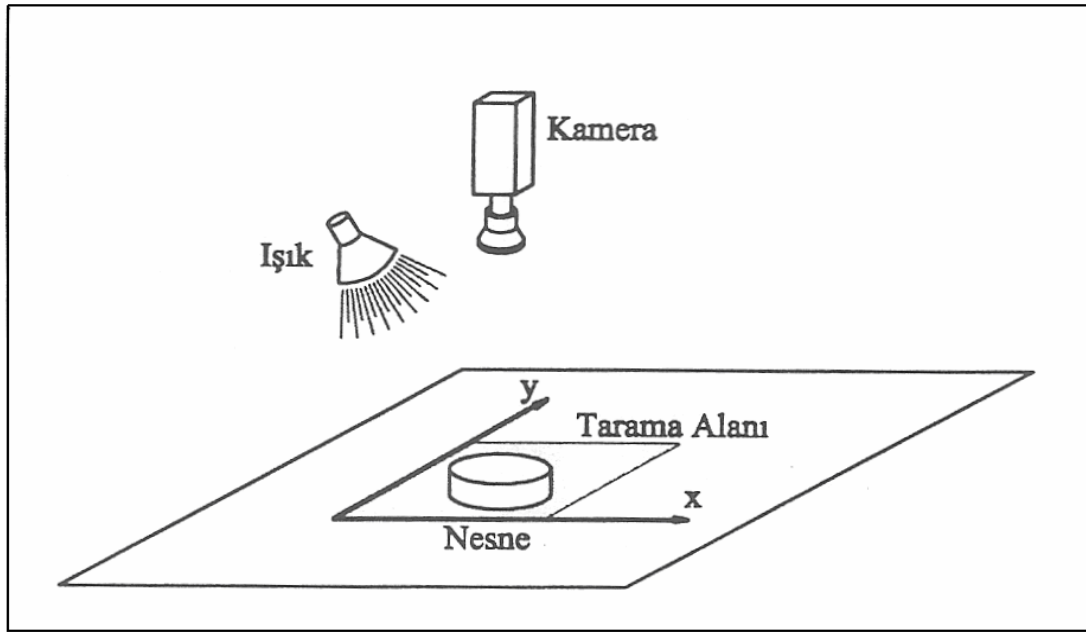
- Görüntü yakalama
- Görüntü işleme teknikleri tayini ve uygulanması
- Uygulama ve çıktılar

Bu aşamalar ve bu aşamaları oluşturan birimlerin ve çalışma sürati ne kadar iyi olursa, elde edilen çalışma sonuçlarının güvenilirliği ve standartı da o derece kadar iyi olmaktadır.

Görüntüsü alınan ve üzerinde görüntü işleme uygulanarak ölçümler gerçekleştirilen parçaların, dış ortamdaki görüntülerinin net ve kayıpsız alınmasına çalışılmıştır. Görüntü alınmasına etki eden faktörlerin düzenli olması görüntü işlemlerinde kolaylık sağlamış ve bu

faktörlerin optimum şekilde kullanılması sağlanmıştır. Görüntü alınmasına etki eden bu faktörler şöyle sıralanabilir; aydınlatma, görüntü odaklanması ve büyültme, görüntü tarama ve kamera çıkış sinyalleri.

Sistemde kullanılan aydınlatma önden aydınlatmadır. Yani kamera ile aynı tarafta olan aydınlatmadır. Bu aydınlatmanın kullanılmasının sebebi yüksekliği derin olan parçaların ölçümlerinin kesinliğinin iyi olmasıdır. Görüntü alma işlemlerinde diğer önemli bir konu görüntü odaklanması ve büyütülmüştür. Görüntü odaklanması objenin kuzeyinde ne kadar net olursa görüntünün ifadesi o kadar kolaylaşmaktadır. Büyütme ise görüntüsü alınan nesnenin gerçek boyu ile kamera merceklerinden oluşan imajının oranına eşittir. Ayrıca geometrik olarak nesnenin merceklerle olan uzaklığına da bağlıdır. Görüntü yakalama işlemleri 1/30 saniyede gerçekleştirilmekte ve yakalama işlemi sonucunda görüntü bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 3.15 Görüntüleme Sistemi (Eroğlu vd.,1999)

Görüntü alındığında gerçek alan ifade eden piksel büyüklüklerinin düzgün şekilde ifade edilebilmesi için ayarlama işlemleri gerekmektedir. Bu çalışmada kayıpları ve hataları en aza indirmek için ayarlama işlemleri dikkatle yapılmıştır.

Görüntüsü alınan alanın, boyutsal geometrisinin uygun olmasına dikkat edilmiştir. Kameranın yerleştirildiği noktadan geçen çizgi nesnenin görüntüsünün alındığı ortamın doğrultusu dik olarak yerleştirilmiştir. Bu yerleşme şematik olarak şekil 3.15'de görülmektedir. Yapılan

deneylerde kameranin taradığı alan üzerindeki nesne ile arka plan düzleminin düzenli şekilde kaydedilebilmesi, kameranin nesne alını üzerinde net ve bulanıksız şekilde odaklanması sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Kameranin ortamı görüş açısı (β) kameranin tarama alanını belirler ve odak uzaklığı (f) ile merceklerin çapına bağlıdır. :

$$\beta = 2x \tan^{-1} \frac{D}{2f}$$

Kameradan geçen ışık miktarı ise F ile ifade edilir:

$$F = \frac{D}{f}$$

ifadesine eşittir. Bu ifadeler görüntünün kalitesine etki etmektedir

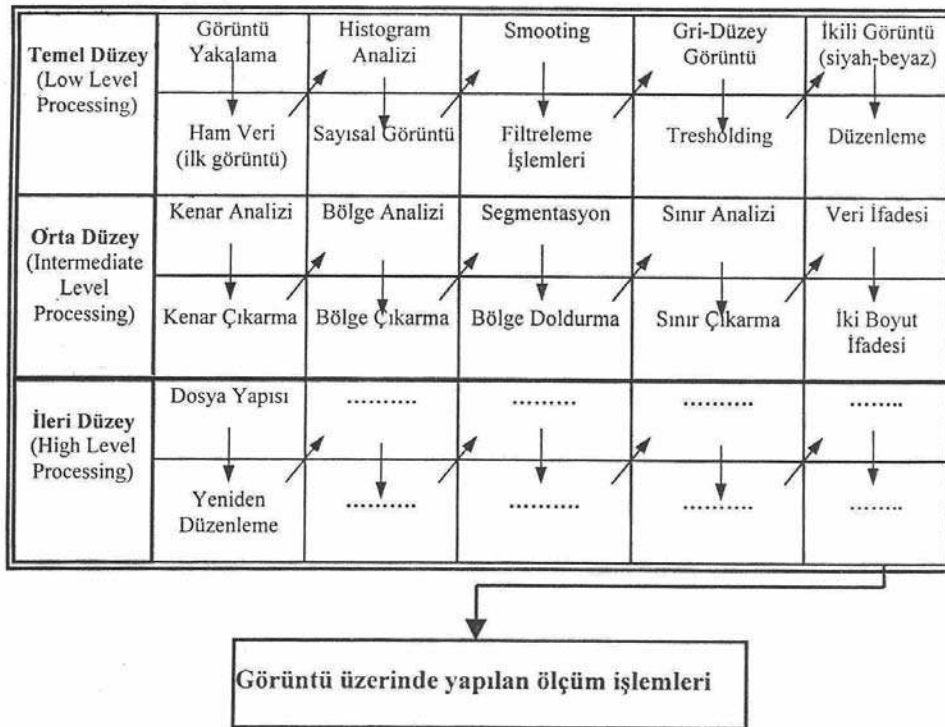
Görüntüler bilgisayar ortamına geldiklerinde ham veri şeklindedirler. Bu ham verilerin üzerinde işlem yapılabilmesi için önce veriler düzenlenir, daha sonra düzenlenen bu veriler üzerinde görüntü işlemleri gerçekleştirilir. Bu görüntü işlemlerini uygularken veri kayıpları oluşmaktadır. Fakat bu veri kayıpları parçanın üzerinden bilgi alınmasını etkileyecek veya görüntünün genel özelliklerini bozacak düzeyde değildir. Orijinal görüntü üzerinden yapılan işlemler sonucu ortaya çıkan kayıplar, görüntü üzerinde açık bir şekilde görülmektedir. Görüntü kenar olabilecek noktaların sayısı olması gerekenden daha fazladır. Dolayısıyla bilgisayar gerçek objeyi tam olarak tespit etmekte zorlanılmasına rağmen görüntü üzerindeki nesneler yaklaşık olarak elde edilmiştir. Burada anlamayı zorlaştıran köşe noktaları kaybolmuş ve görüntü bilgisayar için anlaşılır hale gelmiştir ve üzerinden bilgi alınabilir. Bunların hiçbirisi boyut analizini etkileyecek kayıplar değildir. Fakat bu veri kayıpları bilgisayar işlem hızını ileri derecede arttırmaktadır. Bilgisayar ortamında görüntü piksel değerleri ile ifade edildiğinden mevcut yazılımlar kullanılarak görüntülerin üzerinde işlemler yapılmış ve ayarlama işlemlerinden sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir. Görüntü işlemlerinde elde edilen görüntüler 256 gri düzeye sahip görüntülerdir.

Parçaların boyutsal ölçümleri ve kontrollerinin yapılması için yapılan deneylerde, görüntü alınan ortam şartları belirlidir ve görüntü üzerinde karmaşıklık yaratacak fazla ve değişik şekillerde nesneler bulunmadığı için temel görüntü işlemleri uygulanmakla birlikte daha detaylı nesne analizi için değişik teknikler uygulanmıştır. Tipik bir görüntü için uygulanan işlemler Çizelge 1’de verilmektedir. Bu uygulamalar görüntünün durumuna bağlı olarak gerçekleştirilmiş ve bu işlemlerde en uygun veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu görüntü

işlemleri görüntülerin ilk alındığı andan itibaren görüntülerin durumları göz önünde bulundurularak uygulanmıştır. Çizelge 1’de verilen işlemlerin sırasıyla uygulanabilmesi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Alınan görüntüler üzerinde histogramına bakılarak, piksel değerlerini birbirine yakın hale getirecek şekilde görüntü düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Nesnelerin özelliklerine göre kenar ve bölge işlemleri yapılarak ikili formata getirilmiş, görüntü gri-düzeyden siyah beyaz formata getirilerek veri kayıpları en aza olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu düzenleme ile görüntünün nesneye ait olan siyah bölgeleri bilgisayar programında saydırma işlemine tabi tutularak ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Nesne doldurma işlemlerinde görüntü üzerindeki nesnenin piksel değerlerinin dağılımı ve komşu piksel değişimleri ile arka plan arasındaki değişim değerleri göz önüne alınarak kenar çıkarma işlemi yapılmış ve görüntü üzerinden nesnenin ölçümü gerçekleştirilmiştir.



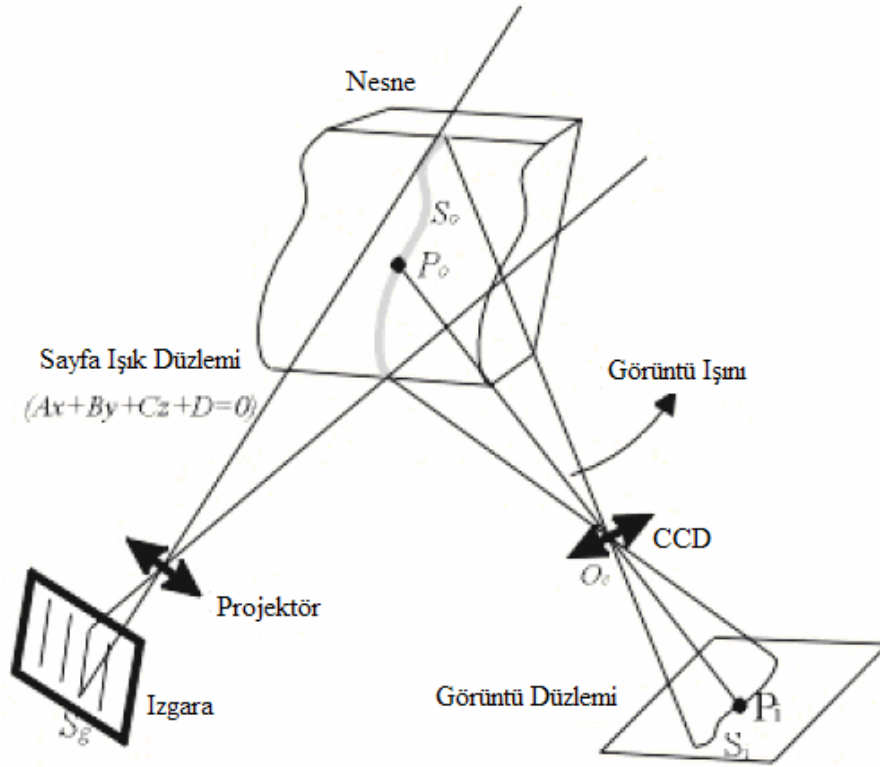
Çizelge 1. Uygulanan görüntü işlemleri sırası(Eroğlu vd., 1999)

Görüntü analizlerinden iyi sonuçlar alınabilmesi için önce görüntü alınan ortamın aydınlatma düzeyinin uygun olması gerekmektedir. Elde edilen görüntüler üzerinde yapılan temel görüntü işlemleri yanında görüntü üzerindeki nesnenin doldurulması ve kenar işlemleri ile bu tip bir çalışma için çok iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Fakat bu işlemlerde görüntü üzerindeki piksel değerlerinde kayıplar daha fazla olmaktadır. Bu kayıpların temelinde ise

gerekli şekilde aydınlatma yapılmaması ve çevre şartlarından kaynaklanan problemlerin olduğu görülmüştür. Ayrıca bilgisayar ortamı ile gerçek ortam arasındaki dönüşüm işlemleri sinyaller vasıtasıyla gerçekleştirildiğinden bu sinyallerde de çeşitli kayıplar olabilmektedir.

Görüntü işlemleri görüntünün büyüklüğüne göre zaman almaktadır. Görüntülerin çözünürlük değerleri arttıkça bilgisayar tarafından kullanılan bit sayısı artmakta ve görüntü üzerinde yapılan işlemlerin zamanı uzamaktadır. (Eroğlu vd., 1999)

(Yang vd., 1995)' in çalışmasında (Eroğlu vd., 1999) gibi 3 boyutlu eksen takımında, az masraflı, basit, hızlı ve temassız çalışan bir yöntemle ölçüm yapmaktır. Bilgisayarlı görüntüleme sistemi, üçgenleme prensibine dayanmaktadır. Sistem, bir yansıtıcı, bir CCD kamera, bir görüntü yakalama kartı ve bir adet kişisel bilgisayar içermektedir. Şekil 3.16'da gösterildiği gibi, yansıtıcının kullanımıyla bir ızgara doğrusu bir nesne yüzeyi üzerine yansıtıldığında, ışıklı bir kağıt düzlemi boşlukta şekillenmekte ve bir ışık huzmesi nesne yüzeyinde oluşturulmaktadır. Işık huzmesi, ayrıca kamera lensi tarafından, kamera görüntü düzlemi üzerine yansıtılmaktadır. Bu nedenle, ışık huzmesi üzerindeki bir yüzey koordinatı, ışıklı kağıt düzlemine ve kamera görüntüleme ışınına karşılık gelen kesitin bulunmasıyla, elde edilmektedir.

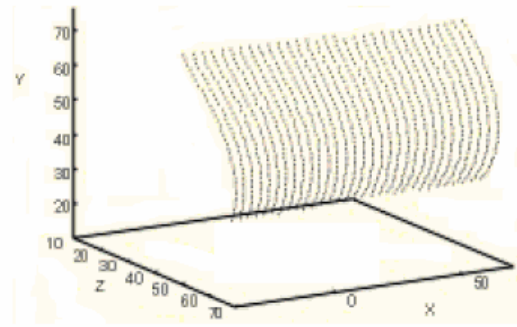
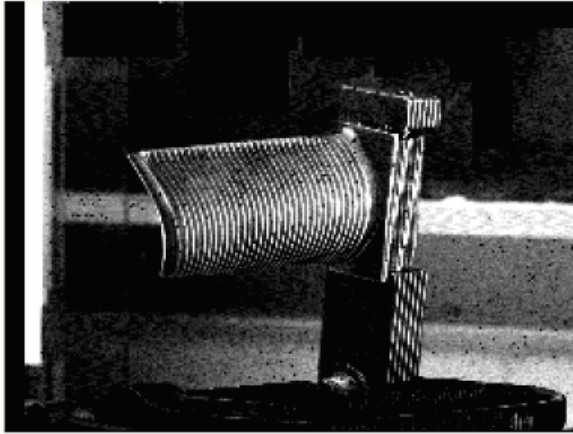


Şekil 3.16 Görüntüleme Sistemi (Yang vd., 1995)

Koordinat ediniminin doğruluğunun geliştirilmesi amacıyla, ışık hüzmesi konumunun bulunması doğru yapılmalıdır. Işık hüzmesi görüntüsünün genişliğinin bir çok pikselden oluşması nedeniyle, ışık hüzmesinin konumunun tam olarak bulunması gerekmektedir. Alt piksel doğruluğuna ulaşmak amacıyla, ışık hüzmesinin şiddet dağılımını sabitlemek için bir polynominal kullanılmalıdır. Polynominalın maksimumu ışık hüzmesi sırtı olarak konumlanır.

Çoklu görüntü ölçümü, nesne yüzeylerinin koordinatlarının tamamının ediniminin başarılması amacıyla, dönel tabla kullanılarak geliştirilmiştir. Üçlü düzlem yöntemi, dönel eksen kalibrasyonu için geliştirilmiştir. Dönel eksenin parametrelerinin saptanmasından sonra, farklı görüntülerden ölçülen bilgiler, ilk konumlarına geri transfer edilebilir ve birbirlerine bağlanabilir.

Bu görüntü sisteminin hassaslığı aşağıdaki gibi özetlenebilir. Düzlem yüzeyi üzerindeki hassaslık; maksimum hatanın 0,3 mm'den az ve ortalama hatanın 0.05 mm'den az olacak şekildedir. Derinlik doğrultusu arasındaki hassaslık; 10 mm derinlikte mutlak hatanın 0,1 mm'den az ve 70 mm derinlikte 0,5 mm civarında olacak şekildedir. Şekil 3.17'de bir türbin kanadının görüntüsü ve ölçülmüş verilerini göstermektedir. Şekil 3.18'de bir silindirik nesnenin 5 görünümlü verisinin bileşimi gösterilmektedir. (Yang vd., 1995)



Şekil 3.17 Türbin kanadının görüntüsü ve ölçülen veriler (Yang vd.,1995)



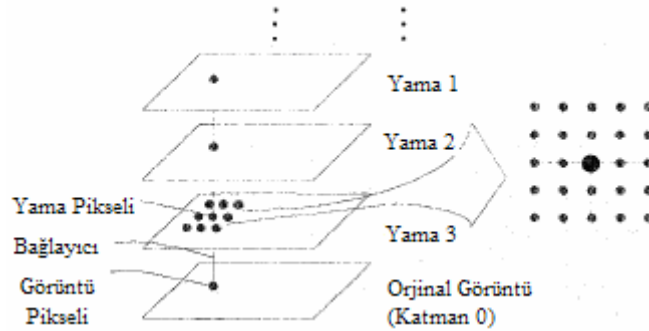
Şekil 3.18 Silindirik nesnenin 5 görüşümlü verisinin bileşimi (Yang vd.,1995)

Tersine mühendislik, endüstride var olan fiziksel bir parçadan geometrik model yaratmak için kullanılır. Genellikle bu görev, koordinat ölçüm cihazının (CMM) uç efektörüne takılan, dokunma probu gibi kontak sensörleri kullanılarak 3-D veri toplanmasıyla başlar. Dokunma probu boyunca yerleştirilmiş bir CCD kamera, sayısallaştırma işleminin otomatik bir şekilde yönlendirilmesi için kullanılır. CCD kamera tarafından çekilen stereo görüntüler hem objenin yüzeysel bileşenlerine ayırmada hem de objeyi CMM yatağında yerini saptamak için ve stereo görüntüleri segmente etmek için kullanılır. Sabit ve sürekli belirli bir yoğunluktaki grilik, ağda yamaların oluşturulduğu temel konumlandırma için kullanılır. Daha keskin yamalar (sabit seviyeli yoğunluklu gri alanda onlalar), daha düşük gri yoğunlukta olan komşu yamalarla kıyaslığında hemen egemenlik kazanırlar. Bu kazanımda bütün strateji şudur ki, önceden yüzey yamalarının sayısının bilinmesi gerekmemektedir ve bölgeleri öğrenmek mümkün değildir. Objenin şekli ve kompleksliği genelde bilinmediğinden bu tersine mühendislik için idealdir. Stereo görüntü çiftlerindeki ayrılmış yamalar kıyaslanarak yüzey yamasının yeri elde edilir. Düzlemsel objelerle yapılan deneyler bu sistemin sağlamlığını kanıtlamıştır. CCD kamera ve CMM dokunma ucu kombine edilerek bir otomatik 3-D sayısallaştırma sistemi geliştirilmiştir.

CMM dokunma probu ile CCD kameranın birleştirilmesi, test edilen objenin otomatik dijitalizasyonuna olanak sağlamıştır. CCD görüntülerinin sinirsel ağ ile segmente edilmesiyle sağlanan avantajlar şunlardır:

- Segmentasyon programı değişik aydınlatma koşullarıyla baş etmede sağlamdır.
- Objede sunulmuş yüzey yamalarının sayısının önceden bilinmesine gerek yoktur.
- Algoritma arka plandaki karışıklıktan dolayı şaşmaz.
- Program değişik şekil ve boyutlardaki obje segmentlerine adapte edilebilir.

Fakat bu sistemin adaptasyonunda birkaç sınırlayıcı etmen vardır. Sinirsel ağ kullanımı yüksek bir güç hesaplaması gerektirir ve ağın zamansal olarak birleşeceğinin garantisi yoktur. Her ayırık yüzeyin gri seviyesinin yansımaları düzgün olmalı, ve yüzey yamalarının altını çizen bir derece ayrı ve devamlı seviyedeki grilik belirli olmalıdır, aksi halde bu yamanın nöronları komşu yamalara sızar. İleriki çalışmalarda, yamaların kesin sınırlarının olmadığı ve dijitalize edilen objedeki delikler tanımlanırken, katmanların komşularına sızmalarını önlemek üzerine yönlendirilebilir. (Chan vd.,1997)



Şekil 3.19 Sinirsel Ağ Sistemi Örneği Sistemi (Chan vd.,1997)

4. UYGULAMALAR

Çalışmada iki boyutlu görüntüleri bilgisayara aktarıp dijital hale getirmek için, HP Office Jet 6110 All-in series ve HP m425 dijital fotoğraf makinası kullanılmıştır. Tarayıcıdan alınan görüntü bitmapdir. Dijital fotoğraf makinesinden alınan görüntü ise jpg'dir. Bu görüntü alma cihazlarının teknik özellikleri Ek 1'de verilmiştir. Şekil 4.1'de kullanılan görüntü yakalama sistemlerinin şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Görüntü yakalama sistemi

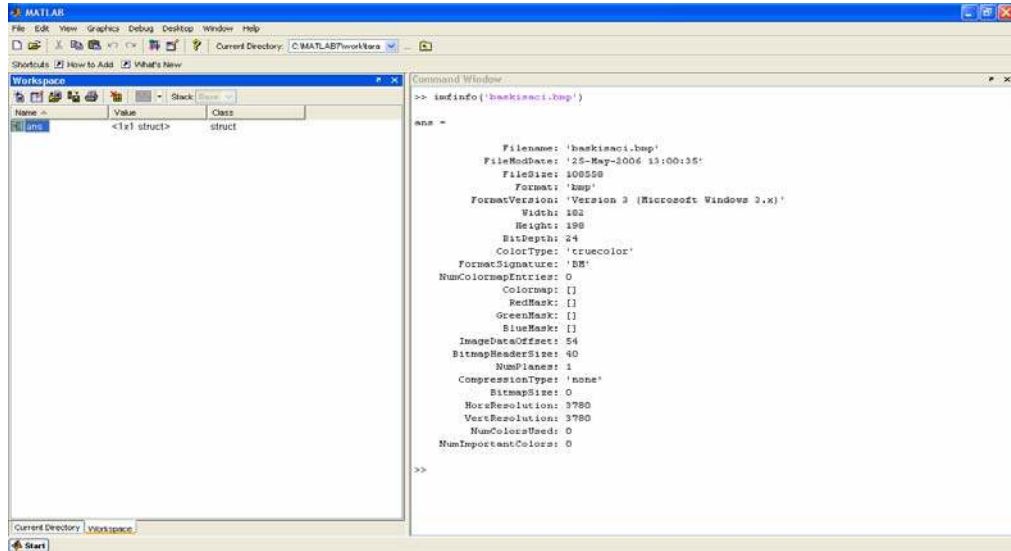
4.1 Uygulama 1 (Baskı Sacının Dijital Görüntüsünden Veri Eldesi)

İlk uygulama dijital bir görüntüdür. Numune eksantrik bir pres parçası olan baskı sacıdır (Şekil 4.2). Dijital görüntü bitmap formatındadır.



Şekil 4.2 Baskı Sacı

Şekil 4.2'de gösterilen baskı sacının görüntüsünün matlab penceresindeki görüntü bilgisi şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Baskı sacı görüntüsünün Matlab penceresindeki görüntü bilgisi

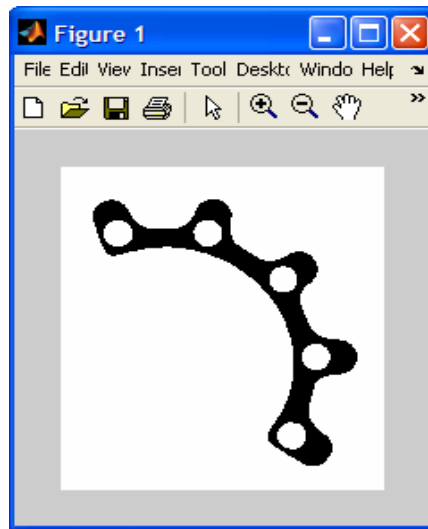
4.1.1 İkili Siyah Beyaz (Binary) Görüntünün Elde Edilmesi

Görüntü matlab programına aktarılıp binary görüntüye dönüştürmek için `bwboundaries` fonksiyonu kullanılır. Oluşan binary görüntü 0 ve 1'ler içeren bir mantık dizisidir. Binary görüntünün matlab penceresindeki görünümü şekil 4.4'de verilmektedir.

`M = imread('sac.bmp');` %bitmap görüntünün Matlab programına aktarılması

`N=im2bw(M);` %bitmap görüntü binary görüntüye dönüştürülüyor

`imshow(N)`



Şekil 4.4 Binary görüntünün Matlab penceresindeki görünüşü

4.1.2 Görüntü İşleme Yöntemiyle Sınır Çizgisinin Bulunması

Bunun için hazırlanan matlab yazılımı kullanılmaktadır. Matlab’de hazırlanan program ile görüntüye ait sınır çizgisi bulunur. Bu şekilde parçanın iki boyutlu konturlarına ulaşılmıştır. Bu köşelerin her satır ve her sütununu aynı zamanda sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını göstermektedir. m file dosyasının çalışması sonucu elde edilen kenarları bulunmuş görüntü Şekil 4.5 ‘de, bu görüntünün matlab penceresindeki görüntü bilgisiye Şekil 4.6’da verilmiştir.

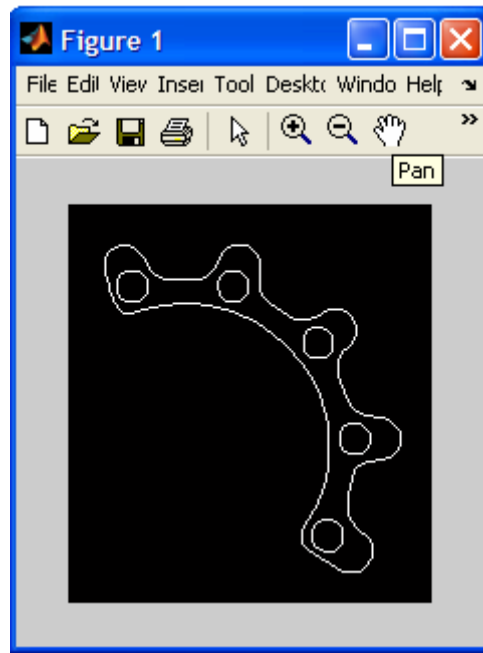
İşlem Basamakları;

Resim Matlab programı tarafından okunur

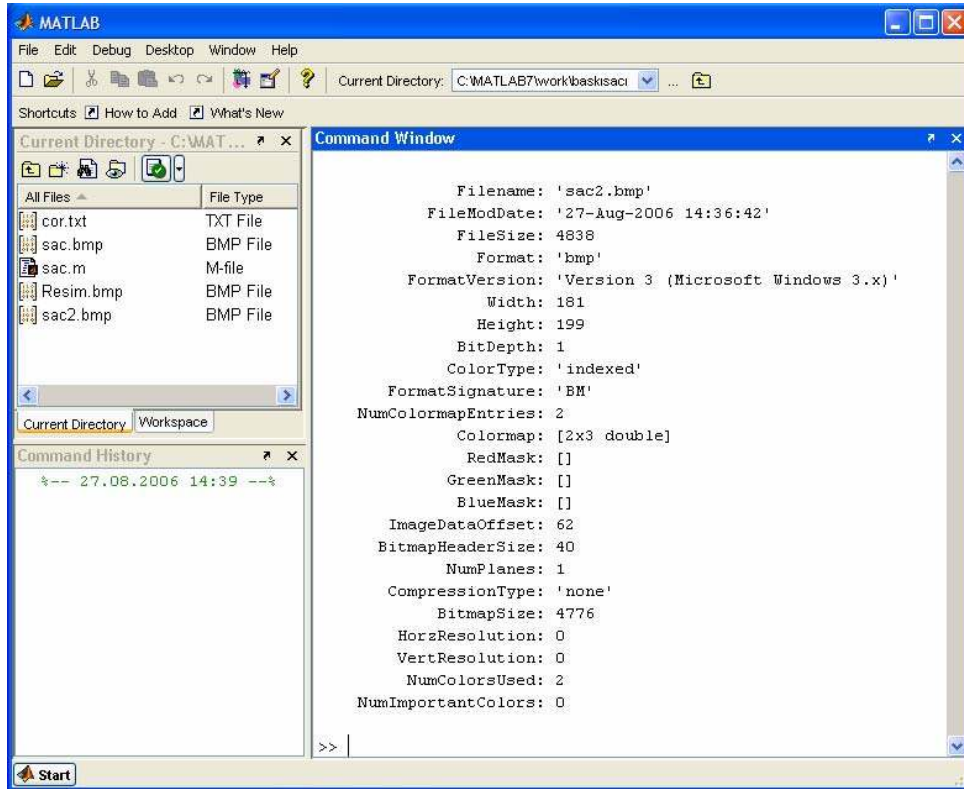
Binary görüntüye çevrilir

Binary görüntü okunur

Kenar bulma işlemi yapılır



Şekil 4.5 Baskı sacının matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü



Şekil 4.6 Kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü

Sınır çizgisi bulunmuş görüntünün sınırlarında matrisin aldığı değerler 1'dir. Bu yüzden 1'leri bulan sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını gösteren matlab programı yazılır. Bunun sonucunda .txt uzantılı text dosyası oluşmaktadır.

İşlem Basamakları;

Resim Matlab programı tarafından okunur

Binary görüntüye çevrilir.

Binary görüntü okunur.

Kenar bulma işlemi yapılır.

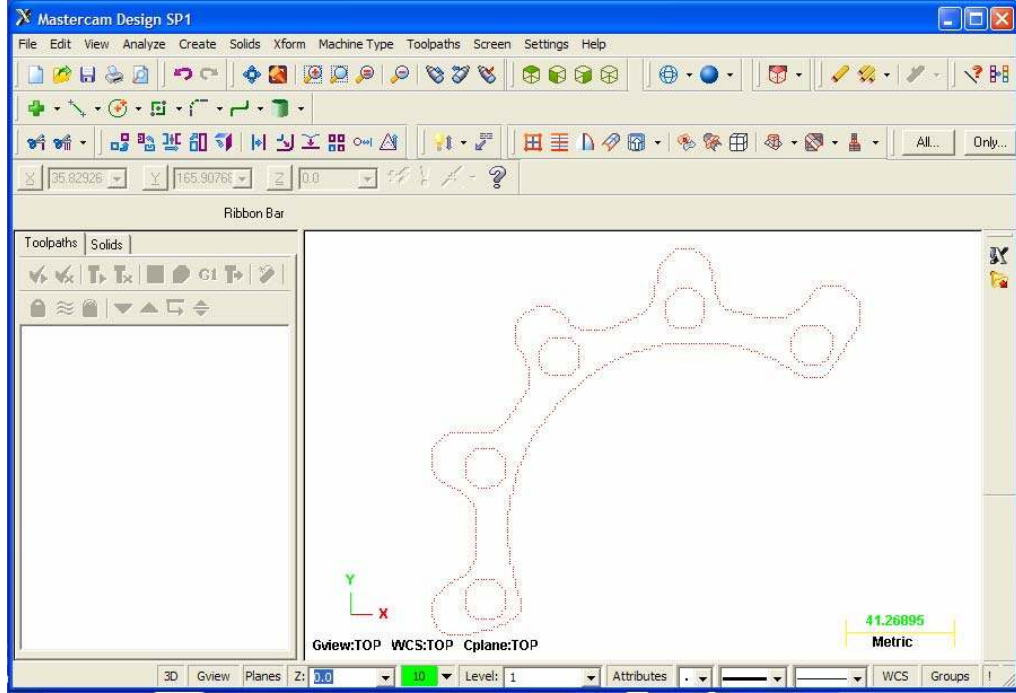
Kenarı bulunmuş görüntünün kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatları bulunur.

Boyut değişmeden çözünürlük istenen oranda arttırılır.

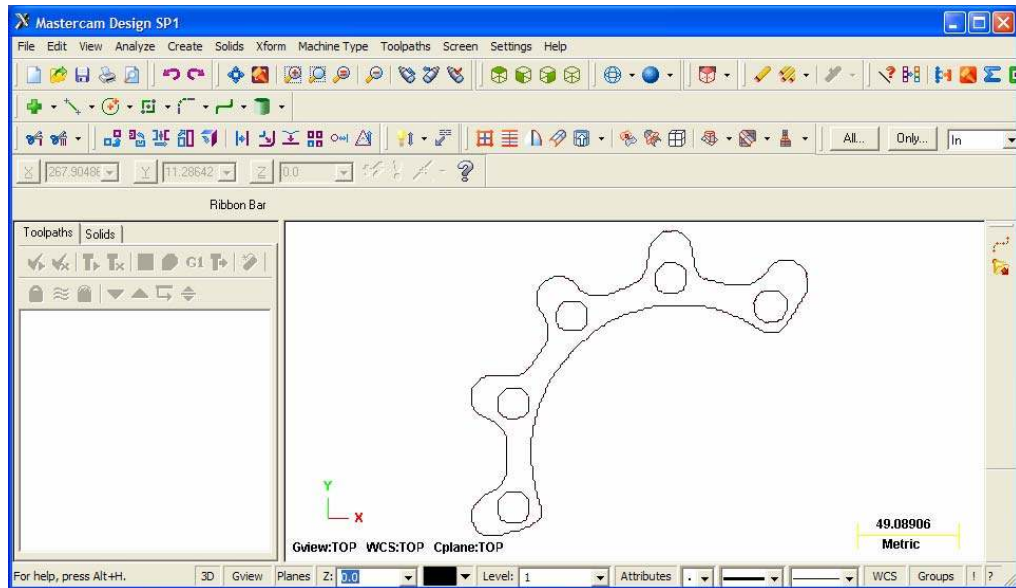
Koordinatlar txt dosyasına yazdırılır.

4.1.3 CAD Programıyla 2 Boyutlu Modelleme

Diziler halinde alınan piksel koordinatları, MASTERCAMX programına, ASCII formatının algılayabileceği *.txt uzantısıyla gönderilir. Bu şekilde CAD programında piksel koordinatları, 2D nokta bulutu halinde ekrana getirilmiş olur (Şekil 4.7). Eğri uydurma metoduyla bu noktalardan geçen bir “spline” ise Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



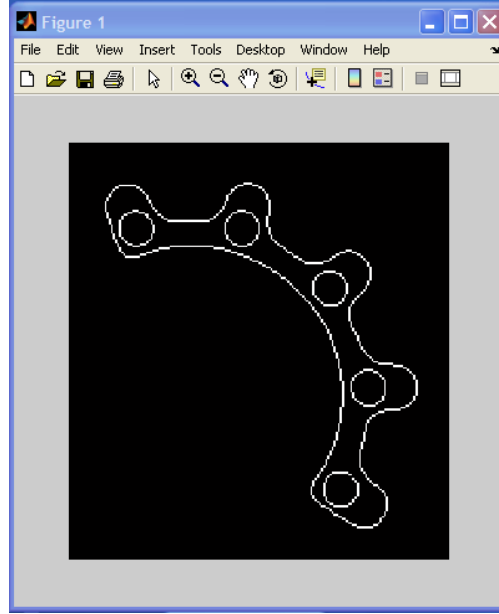
Şekil 4.7 MASTERCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde gösterimi



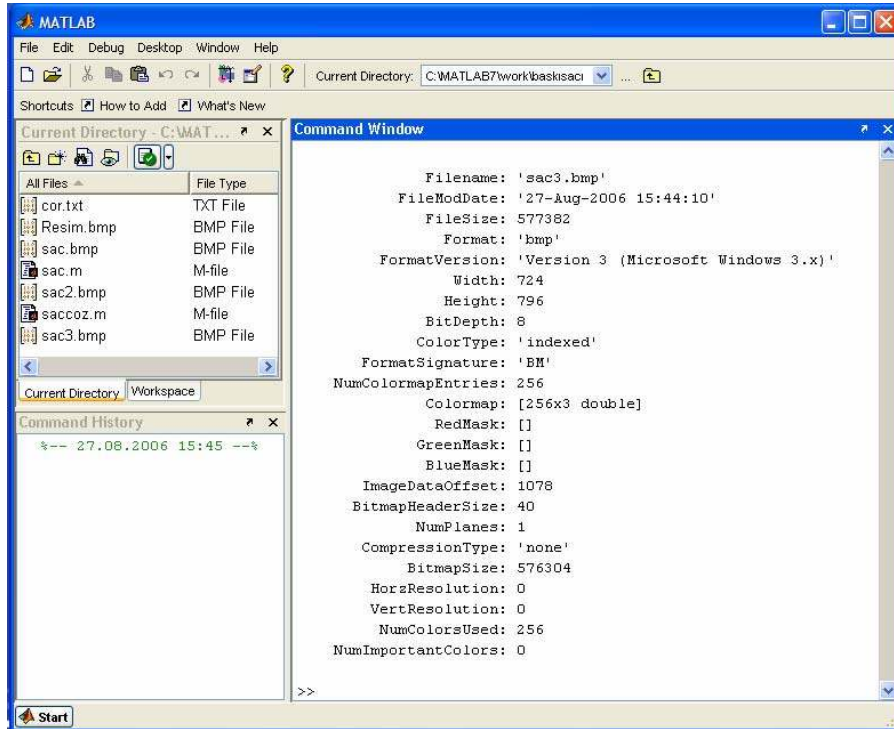
Şekil 4.8 Kapalı bir spline eğrisi olarak gösterimi

4.1.4 Çözünürlüğü İki Kat Arttırılmış Görüntü İçin İşlemlerin Tekrarlanması

Görüntünün çözünürlüğünü arttırmak için matriste buldurulan iki tane 1 değerinin arasına bir tane daha 1 değeri eklenir.

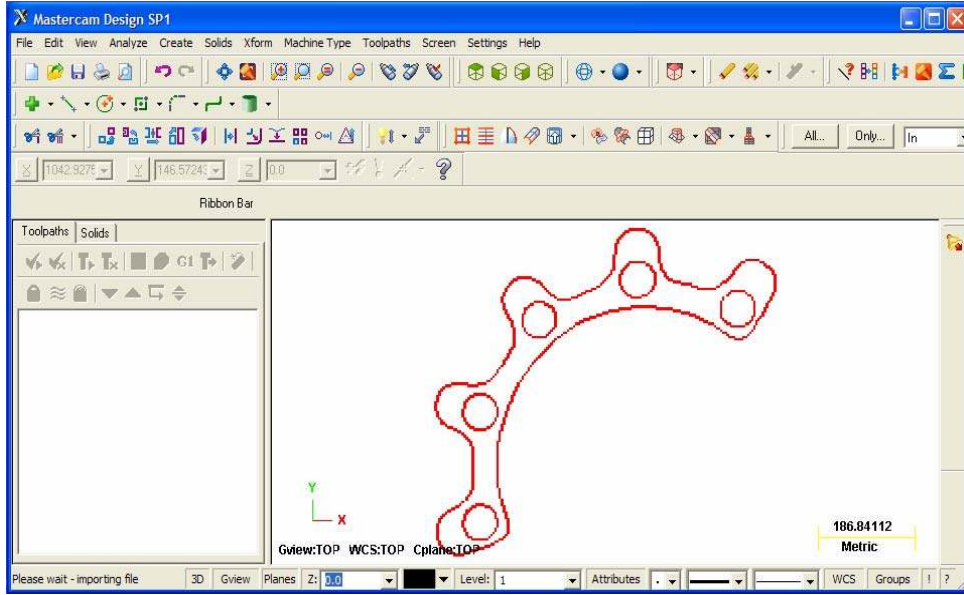


Şekil 4.9 Çözünürlüğü iki kat arttırılmış Baskı sacının matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü



Şekil 4.10 Kenar bulma işlemi tamamlanmış çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü

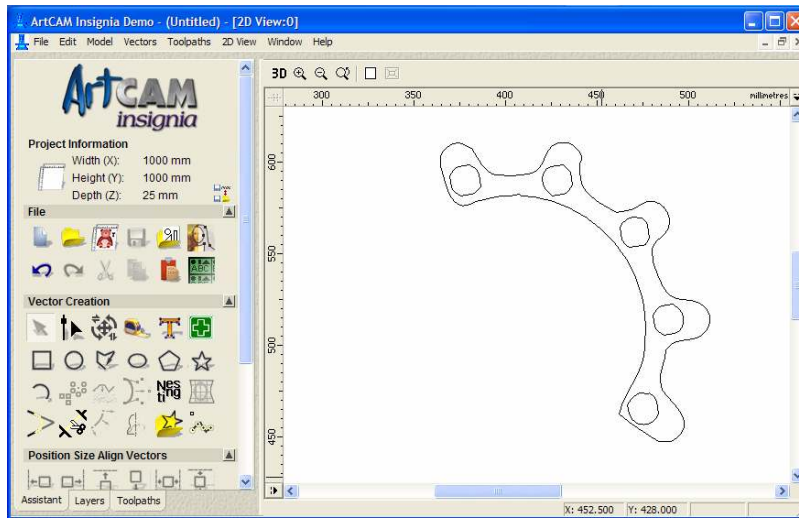
Bu şekilde çözünürlüğü artırılmış görüntümüz MASTERCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde, Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 MASTERCAM penceresinde çözünürlüğü artırılmış görüntünün gösterimi

4.1.5 Vektörizasyon Uygulaması

Dijital görüntünün ArtCAM Insignia Demo programına aktarılıp vektörizasyon uygulaması yapıldığında elde edilen görüntünün program penceresindeki görünüşü şekil 4.12’de gösterilmektedir. Burada elde edilen görüntü CAD programına *.dwg veya *.dxf olarak aktarılabilir.



Şekil 4.12 Vektörizasyon uygulaması

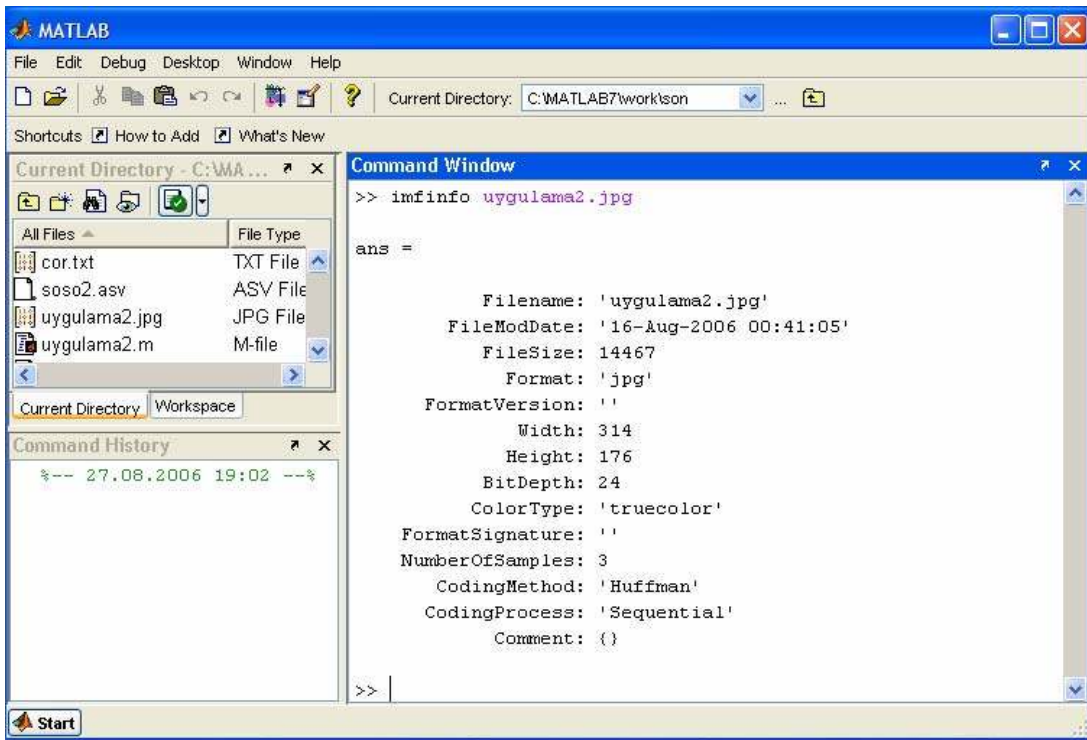
4.2 Uygulama 2 (Dijital Kameradan Alınan Kilit Kapama Dişli Parçası Görüntüsünden Veri Eldesi)

Uygulama dijital kamera ile çekilmiş gerçek bir parçanın görüntüsüdür (Şekil 4.13). Görüntü jpg formatındadır.



Şekil 4.13 2.Uygulama parçası

Şekil 4.13’de gösterilen uygulama 2 parçası görüntüsünün matlab penceresindeki görüntü bilgisi şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Uygulama 2 görüntüsünün Matlab penceresindeki görüntü bilgisi

4.2.1 İkili Siyah Beyaz (Binary) Görüntünün Elde Edilmesi

Görüntü matlab programına aktarılıp binary görüntüye dönüştürmek için `bwboundaries` fonksiyonu kullanılır. Oluşan binary görüntü 0 ve 1'ler içeren bir mantık dizisidir. Binary görüntünün matlab penceresindeki görünümü şekil 4.15'de verilmektedir.

```
bitmap = imread('uygulama2.JPG','JPG'); %görüntünün Matlab programına aktarılması ve
```

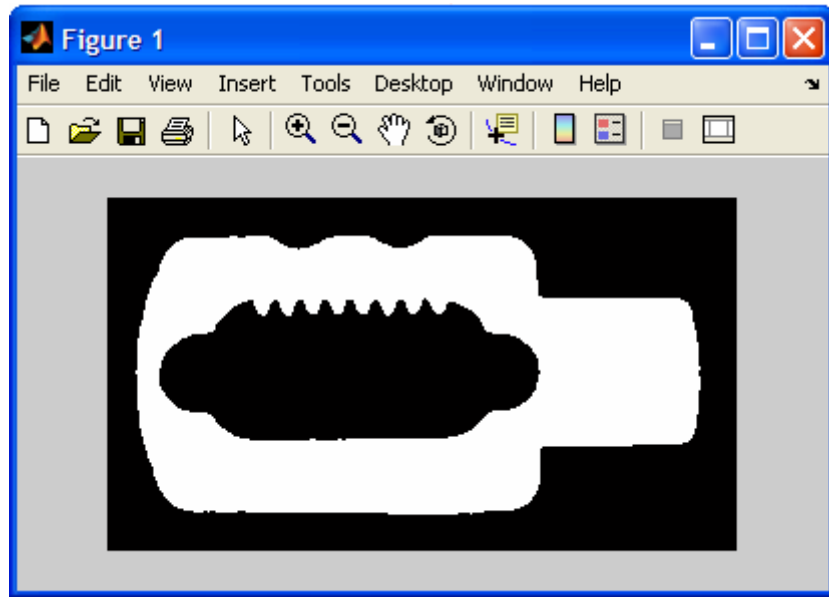
```
bitmap haline getirilmesi
```

```
imwrite(bitmap,'uygulama2.bmp','bmp'); %bitmap görüntünün yazdırılması
```

```
M = imread('uygulama2.bmp'); %bitmap görüntünün Matlab programına aktarılması
```

```
N=im2bw(M); % görüntü binary görüntüye dönüştürülüyor
```

```
imshow(N)
```



Şekil 4.15 Binary görüntünün Matlab penceresindeki görünüşü

4.2.2 Görüntü İşleme Yöntemiyle Sınır Çizgisinin Bulunması

Bunun için hazırlanan matlab yazılımı kullanılmaktadır. Matlab’de hazırlanan program ile görüntüye ait sınır çizgisi bulunur. Bu şekilde parçanın iki boyutlu konturlarına ulaşılmıştır. Bu köşelerin her satır ve her sütununu aynı zamanda sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını göstermektedir. m file dosyasının çalışması sonucu elde edilen kenarları bulunmuş görüntü Şekil 4.16 ‘da, bu görüntünün matlab penceresindeki görüntü bilgisiye Şekil 4.17’de verilmiştir.

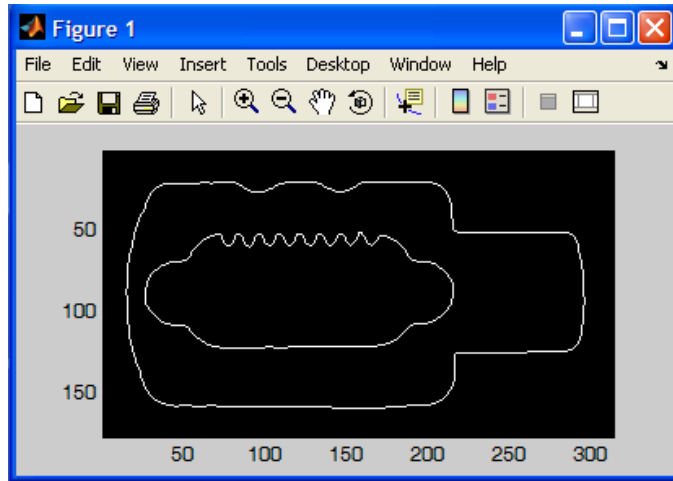
İşlem Basamakları;

Resim Matlab programı tarafından okunur

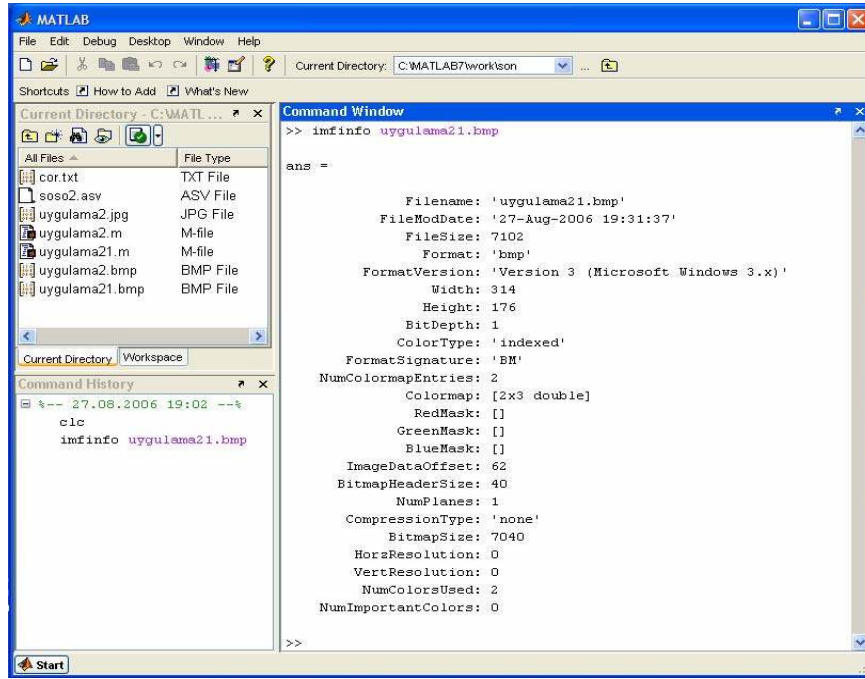
Binary görüntüye çevrilir

Binary görüntü okunur

Kenar bulma işlemi yapılır



Şekil 4.16 Uygulama 2’nin Matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü



Şekil 4.17 Kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü

Kenar bulunmuş görüntü sınırlarda matrisin aldığı değerler 1'dir. Bu yüzden 1'leri bulan sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını gösteren matlab programı yazılır. Bunun sonucunda .txt uzantılı text dosyası oluşmaktadır.

İşlem Basamakları;

Resim Matlab programı tarafından okunur

Binary görüntüye çevrilir.

Binary görüntü okunur.

Kenar bulma işlemi yapılır.

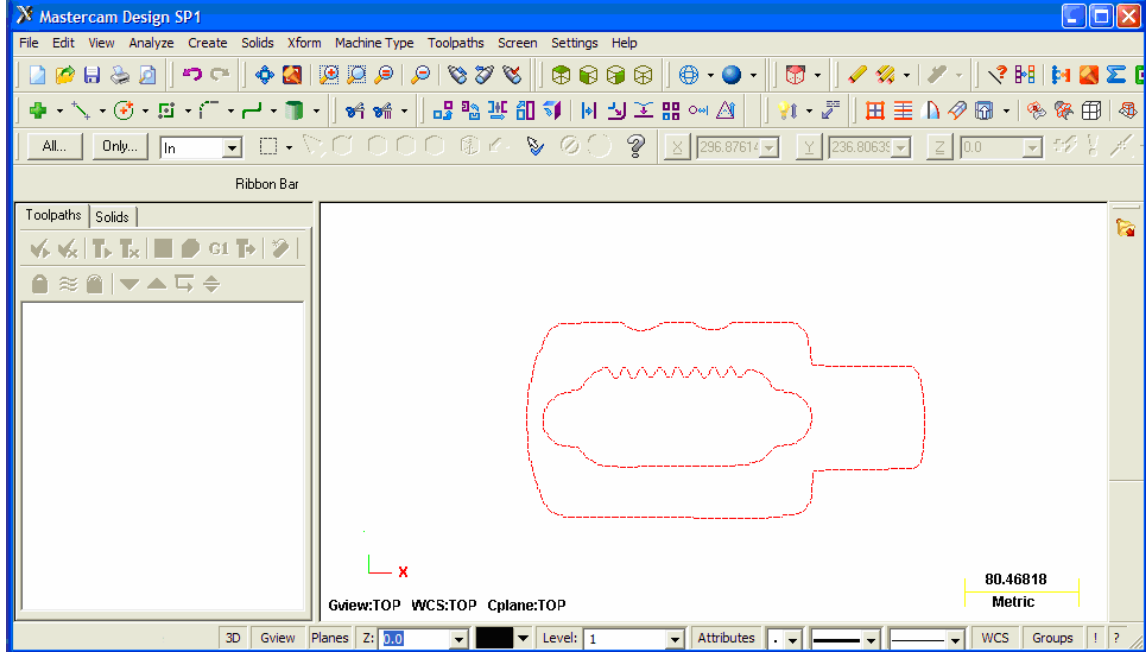
Kenarı bulunmuş görüntünün kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatları bulunur.

Boyut değişmeden çözünürlük istenen oranda arttırılır.

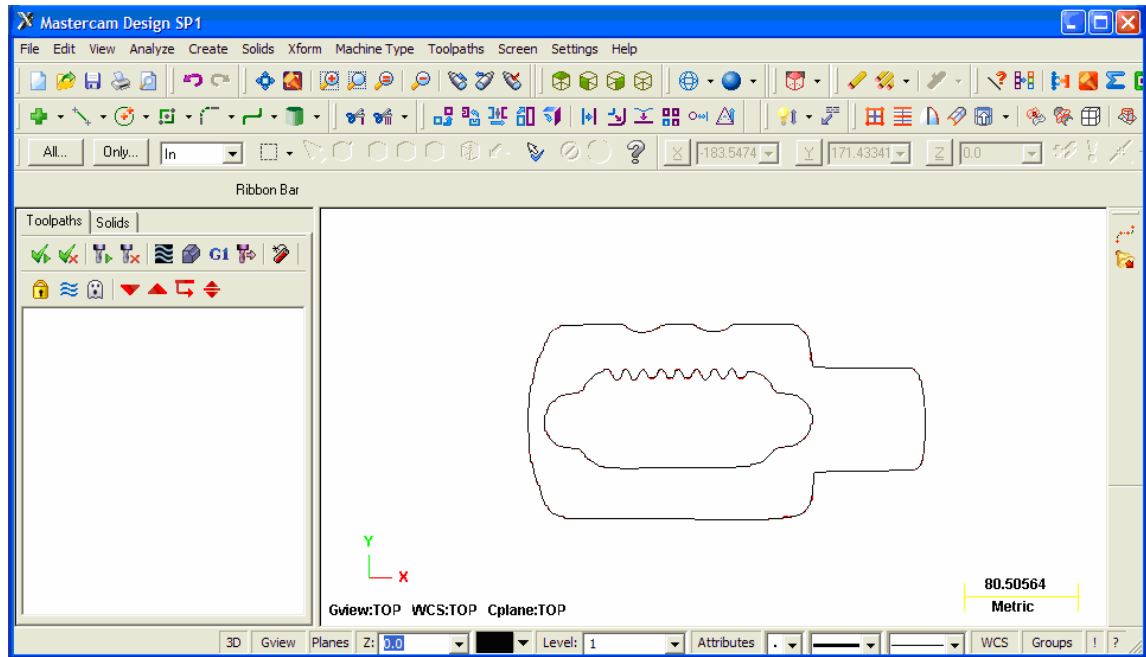
Koordinatlar txt dosyasına yazdırılır.

4.2.3 CAD Programıyla 2 Boyutlu Modelleme

Diziler halinde alınan piksel koordinatları, MASTERCAMX programına, ASCII formatının algılayabileceği *.txt uzantısıyla gönderilir. Bu şekilde CAD programında piksel koordinatları, 2D nokta bulutu halinde ekrana getirilmiş olur (Şekil 4.18). Eğri uydurma metoduyla bu noktalardan geçen bir “spline” ise Şekil 4.19’da gösterilmektedir.



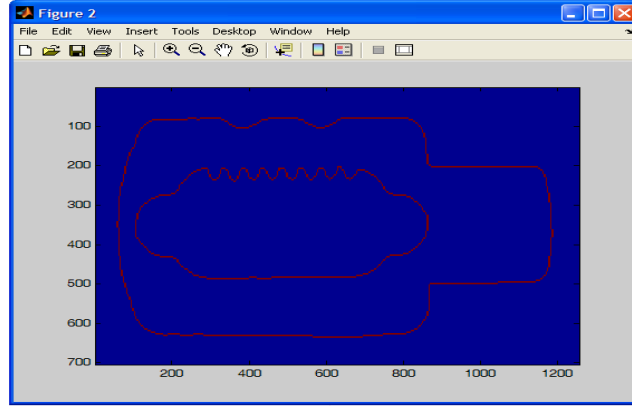
Şekil 4.18 MASTERCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde gösterimi



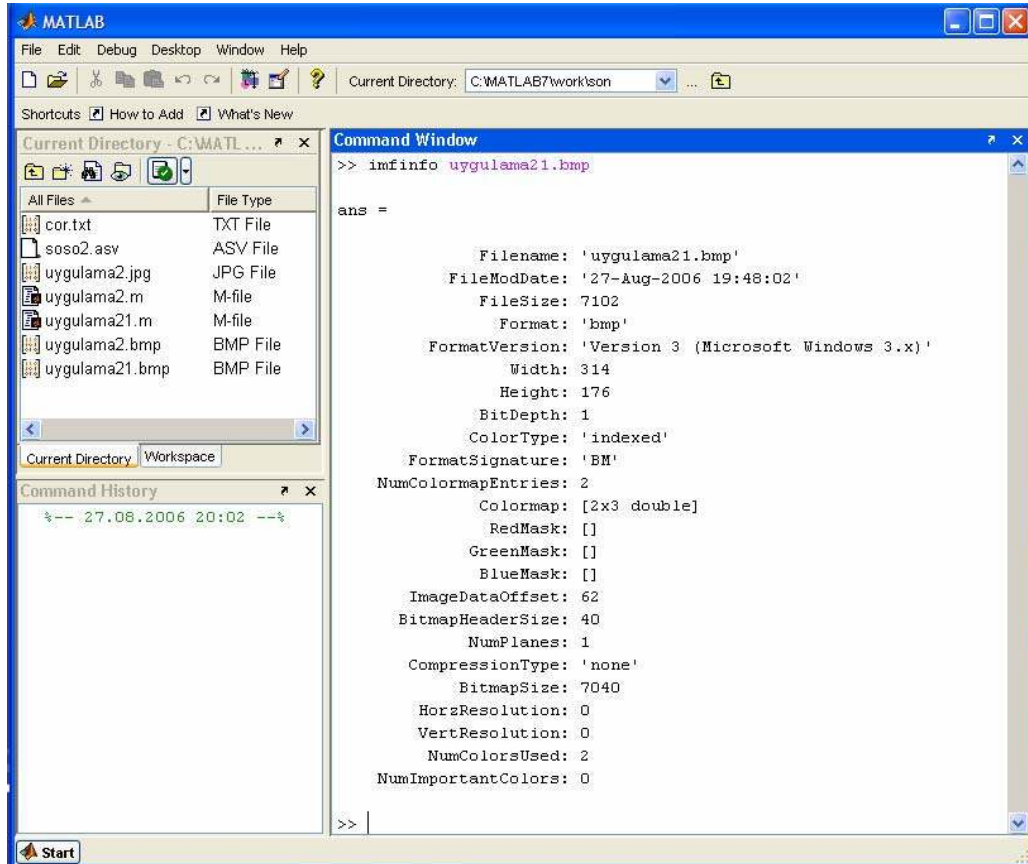
Şekil 4.19 Kapalı bir spline eğrisi olarak gösterimi

4.2.4 Çözünürlüğü İki Kat Arttırılmış Görüntü İçin İşlemlerin Tekrarlanması

Görüntünün çözünürlüğünü arttırmak için matriste buldurulan iki tane 1 değerinin arasına bir tane daha 1 değeri eklenir.

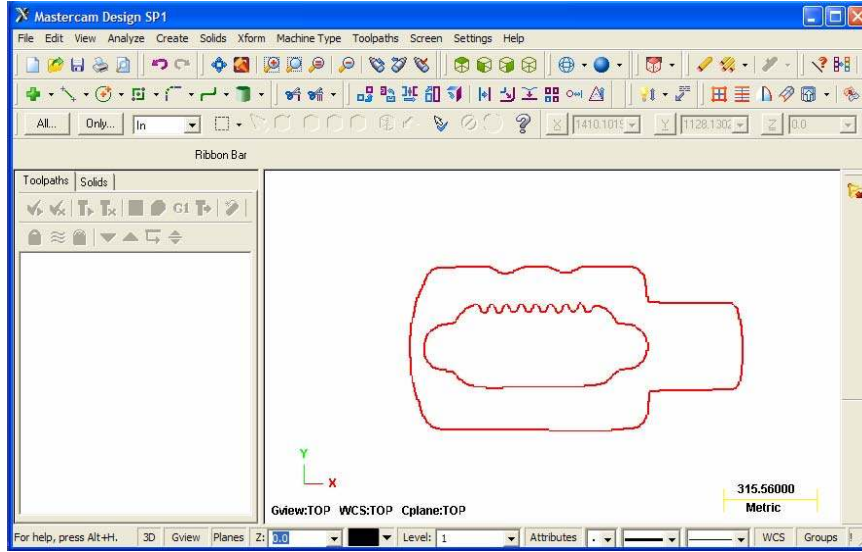


Şekil 4.20 Çözünürlüğü iki kat arttırılmış uygulama 2 görüntüsünün matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü



Şekil 4.21 Kenar bulma işlemi tamamlanmış çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü

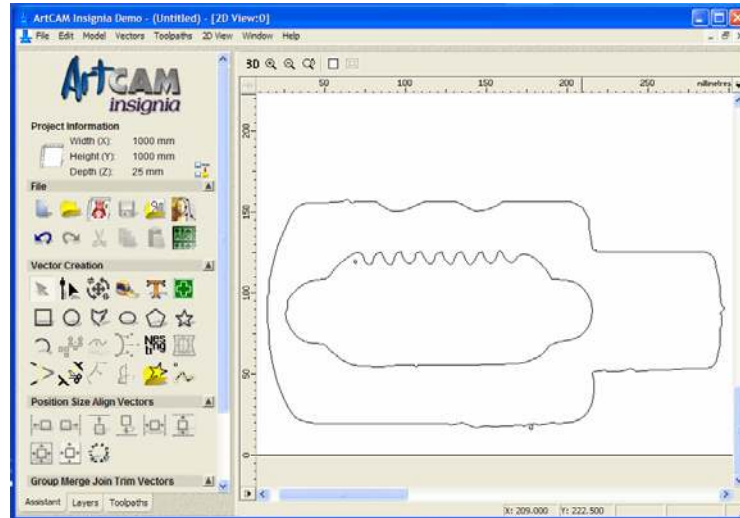
Çözünürlüğünü iki kat arttırılan görüntünün kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarının nokta bulutu şeklinde MasterCAM penceresindeki görünümü şekil 4.22’de verilmektedir.



Şekil 4.22 MASTERCAM penceresinde çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün nokta bulutu şeklinde gösterimi

4.2.5 Vektörizasyon Uygulaması

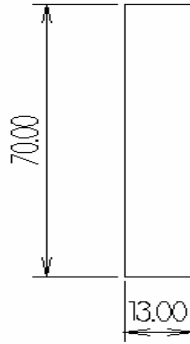
Dijital görüntünün ArtCAM Insignia Demo programına aktarılıp vektörizasyon uygulaması yapıldığında elde edilen görüntünün program penceresindeki görünüşü şekil 4.23’de gösterilmektedir. Burada elde edilen görüntü CAD programına *.dwg veya *.dxf olarak aktarılabilir.



Şekil 4.23 Vektörizasyon uygulaması

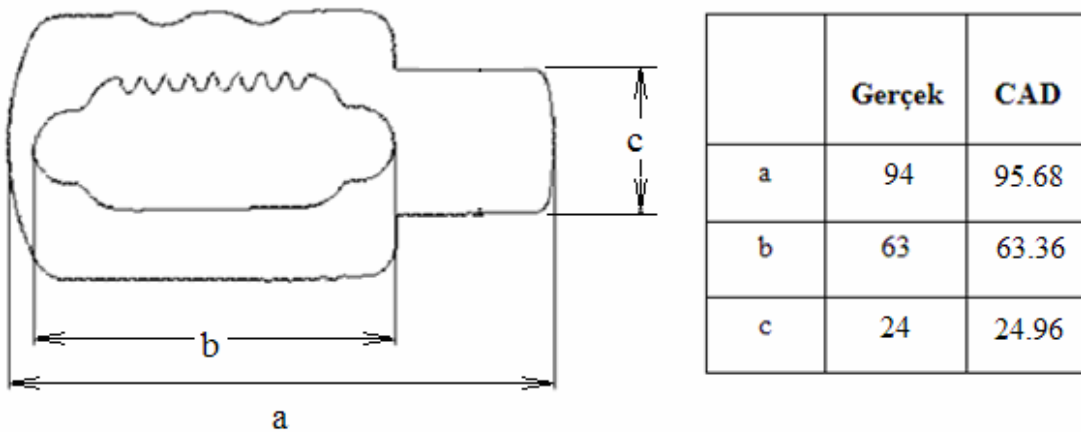
4.2.6 Boyut ölçümü

Dijital kamera dik olarak şekil 4.1'deki gibi pozisyonlanarak parçanın fotoğrafı çekilmiştir. Fotoğraf çekilirken elde edilen sonuçlarda ışık, perspektif çok etkili olmuştur. Perspektif tüm fotoğraflar aynı konumda çekilerek çözülmüştür. Kamera ile parça arasındaki mesafe ve açı her görüntü için aynıdır. Fotoğraf bilgisayara aktarıldığında kamera ile arasındaki mesafeden dolayı boyut bilgileri değişmiş olarak gelir. Bu ilk fotoğrafın gerçek boyutları ile CAD görüntüsünde elde edilen boyutlar arasında bir katsayı bulunur. Bu katsayıyı bulmak için şekil 4.24'de temsili görüntüsü ve boyutları verilen parça gerçek boyutuyla karşılaştırılmıştır. CAD de elde edilen model scale komutu kullanılarak perspektif etkisinden kurtulunur. Kullanılan scale katsayısı 0.32 'dir



Şekil 4.24 Oranlama için kullanılan parçanın temsili görüntüsü ve boyutları

Elde edilen iki boyutlu CAD modelin boyutları şekil 4.25'de verilmektedir.



Şekil 4.25 İki boyutlu CAD modelin boyutlandırılması

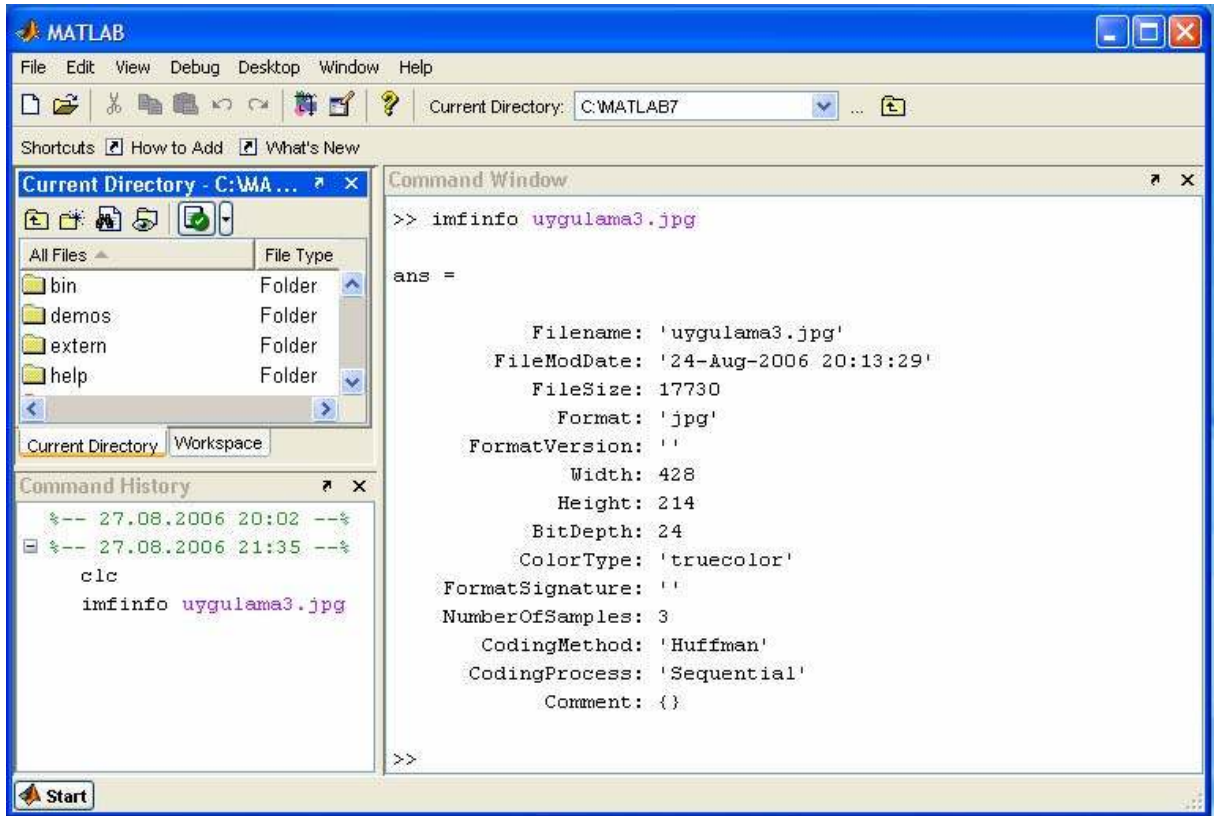
4.3 Uygulama 3 (Dijital Kameradan Alınan Bağlantı Elemanı Görüntüsünden Veri Eldesi)

Uygulama dijital kamera ile çekilmiş gerçek bir parçanın görüntüsüdür (Şekil 4.26). Görüntü jpg formatındadır.



Şekil 4.26 3.Uygulama parçası

Şekil 4.26’da gösterilen uygulama 3 parçası görüntüsünün matlab penceresindeki görüntü bilgisi şekil 4.27’de gösterilmektedir.



Şekil 4.27 Uygulama 3 görüntüsünün Matlab penceresindeki görüntü bilgisi

4.3.1 İkili Siyah Beyaz (Binary) Görüntünün Elde Edilmesi

Görüntü matlab programına aktarılıp binary görüntüye dönüştürmek için `bwboundaries` fonksiyonu kullanılır. Oluşan binary görüntü 0 ve 1'ler içeren bir mantık dizisidir. Binary görüntünün matlab penceresindeki görünümü şekil 4.28'de verilmektedir.

```
bitmap = imread('uygulama3.JPG','JPG'); %görüntünün Matlab programına aktarılması ve
```

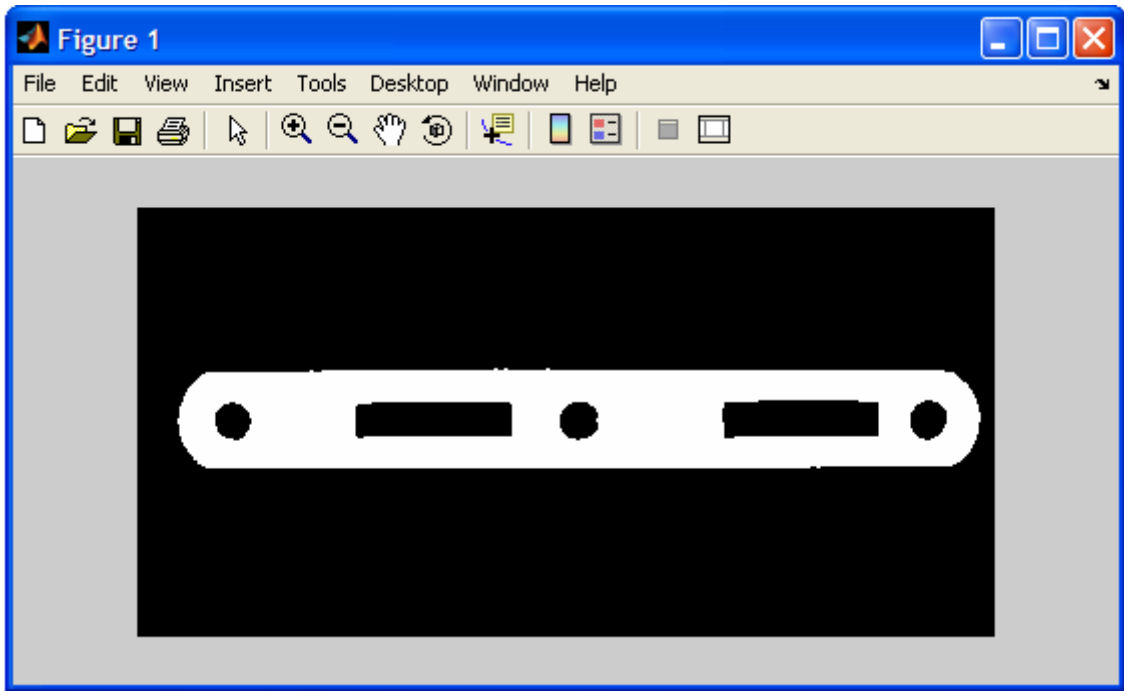
```
bitmap haline getirilmesi
```

```
imwrite(bitmap,'uygulama3.bmp','bmp'); %bitmap görüntünün yazdırılması
```

```
M = imread('uygulama3.bmp'); %bitmap görüntünün Matlab programına aktarılması
```

```
N=im2bw(M); % görüntü binary görüntüye dönüştürülüyor
```

```
imshow(N)
```



Şekil 4.28 Binary görüntünün Matlab penceresindeki görünüşü

4.3.2 Görüntü İşleme Yöntemiyle Sınır Çizgisinin Bulunması

Bunun için hazırlanan matlab yazılımı kullanılmaktadır. Matlab’de hazırlanan program ile görüntüye ait sınır çizgisi bulunur. Bu şekilde parçanın iki boyutlu konturlarına ulaşılmıştır. Bu köşelerin her satır ve her sütununu aynı zamanda sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını göstermektedir. m file dosyasının çalışması sonucu elde edilen kenarları bulunmuş görüntü Şekil 4.29’da, bu görüntünün matlab penceresindeki görüntü bilgisiye Şekil 4.30’da verilmiştir.

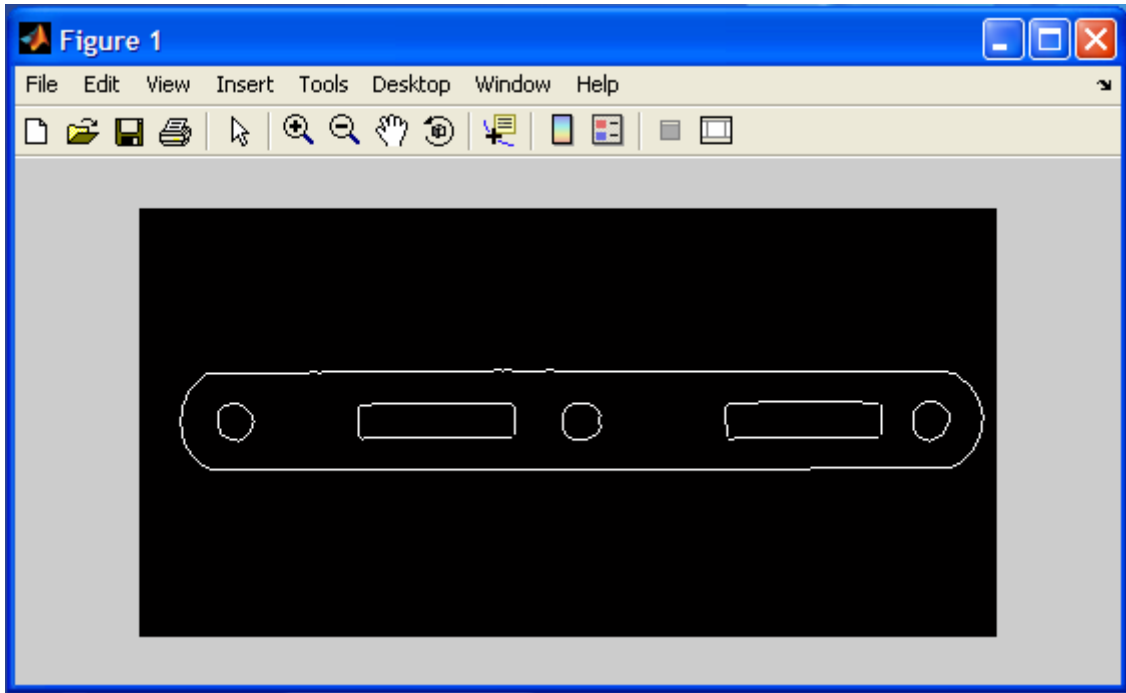
İşlem Basamakları;

Resim Matlab programı tarafından okunur

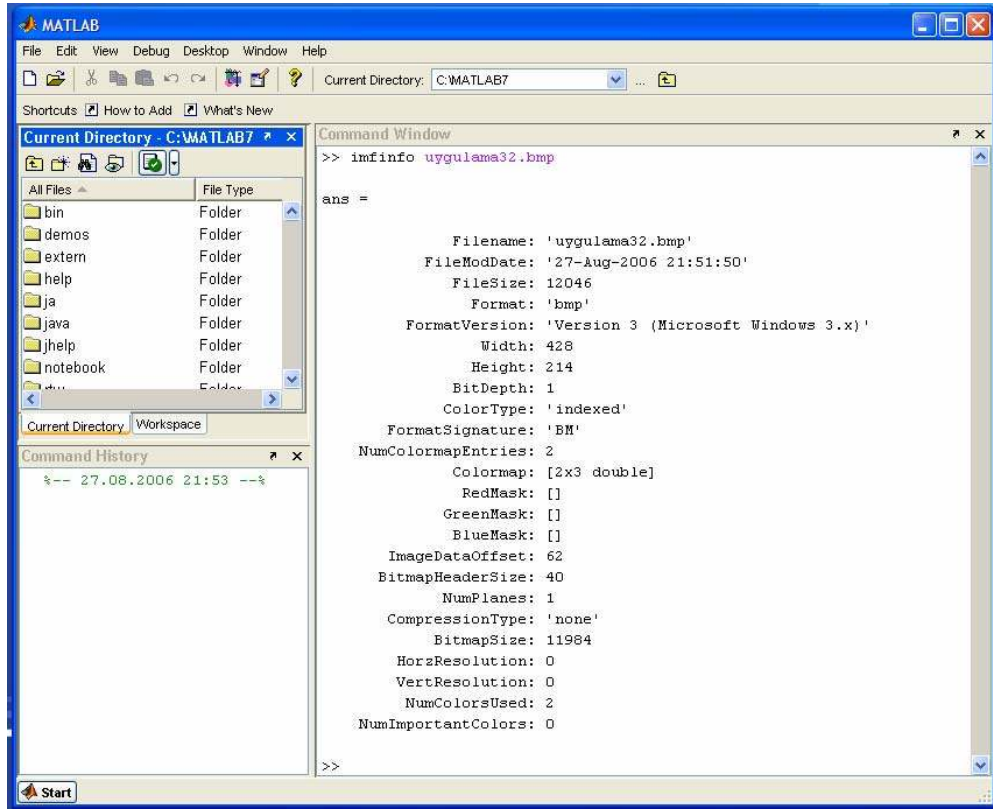
Binary görüntüye çevrilir

Binary görüntü okunur

Kenar bulma işlemi yapılır



Şekil 4.29 Uygulama 3’ün Matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü



Şekil 4.30 Kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü

Kenar bulunmuş görüntü sınırlarda matrisin aldığı değerler 1'dir. Bu yüzden 1'leri bulan sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını gösteren matlab programı yazılır. Bunun sonucunda .txt uzantılı text dosyası oluşmaktadır.

İşlem Basamakları;

Resim Matlab programı tarafından okunur

Binary görüntüye çevrilir.

Binary görüntü okunur.

Kenar bulma işlemi yapılır.

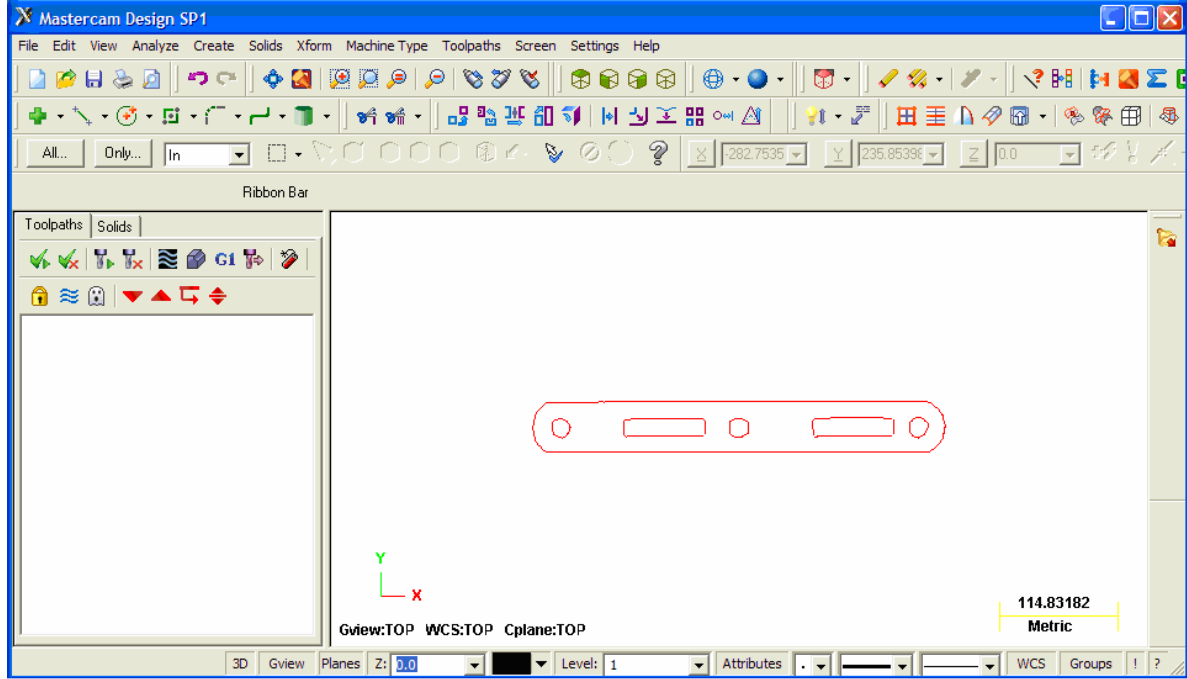
Kenarı bulunmuş görüntünün kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatları bulunur.

Boyut değişmeden çözünürlük istenen oranda arttırılır.

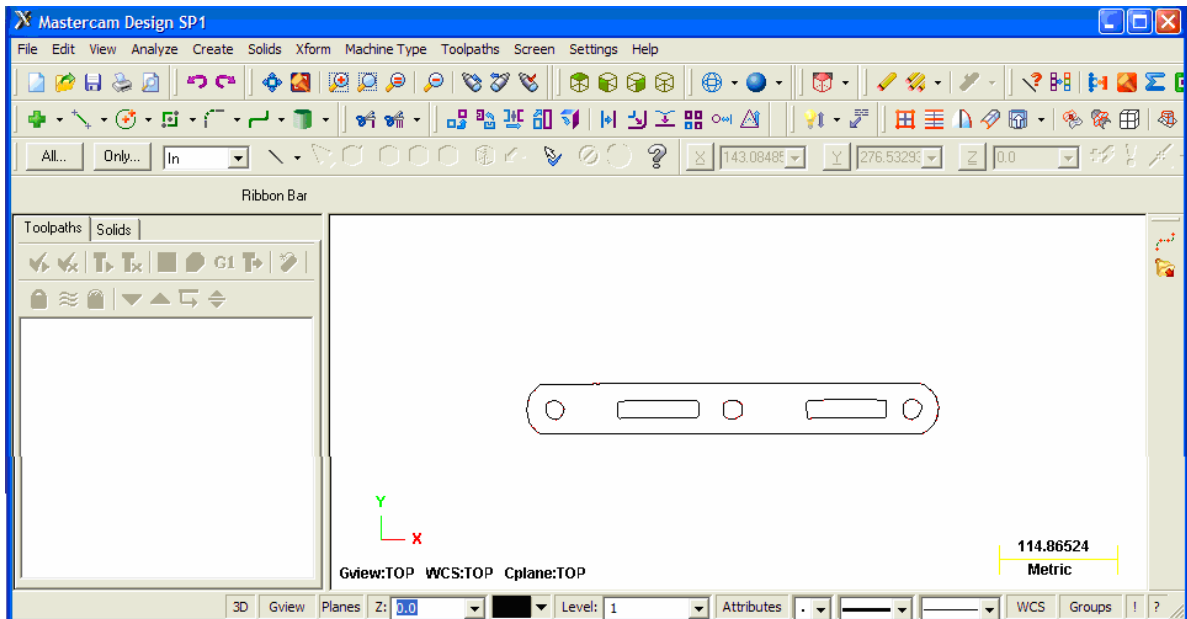
Koordinatlar txt dosyasına yazdırılır.

4.3.3 CAD Programıyla 2 Boyutlu Modelleme

Diziler halinde alınan piksel koordinatları, MASTERCAMX programına, ASCII formatının algılayabileceği *.txt uzantısıyla gönderilir. Bu şekilde CAD programında piksel koordinatları, 2D nokta bulutu halinde ekrana getirilmiş olur (Şekil 4.31). Eğri uydurma metoduyla bu noktalardan geçen bir “spline” ise Şekil 4.32’de gösterilmektedir.



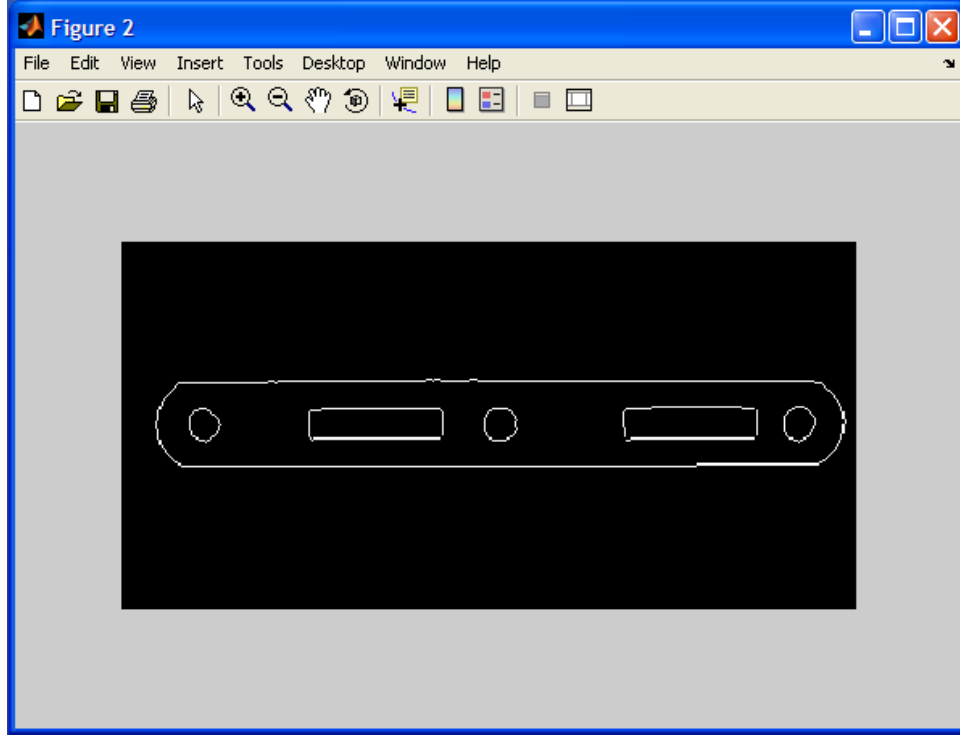
Şekil 4.31 Uygulama 3’ün MasterCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde gösterimi



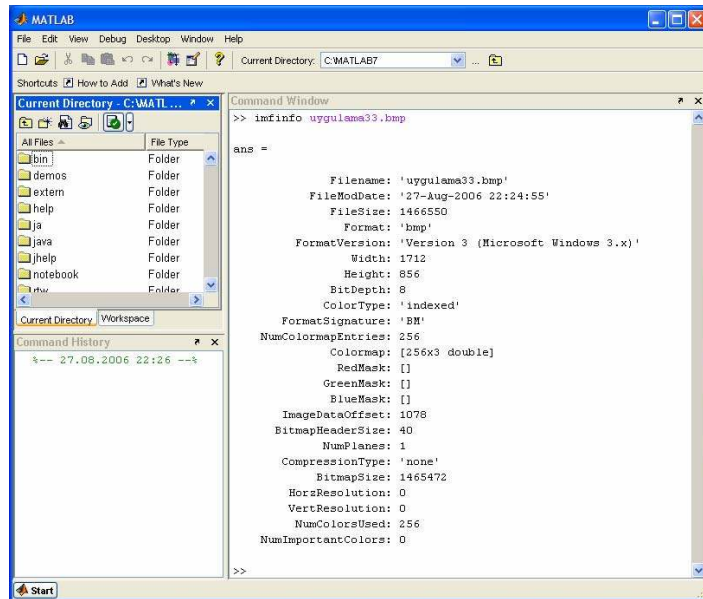
Şekil 4.32 Kapalı bir spline eğrisi olarak gösterimi

4.3.4 Çözünürlüğü İki Kat Arttırılmış Görüntü İçin İşlemlerin Tekrarlanması

Görüntünün çözünürlüğünü arttırmak için matriste buldurulan iki tane 1 değerinin arasına bir tane daha 1 değeri eklenir.

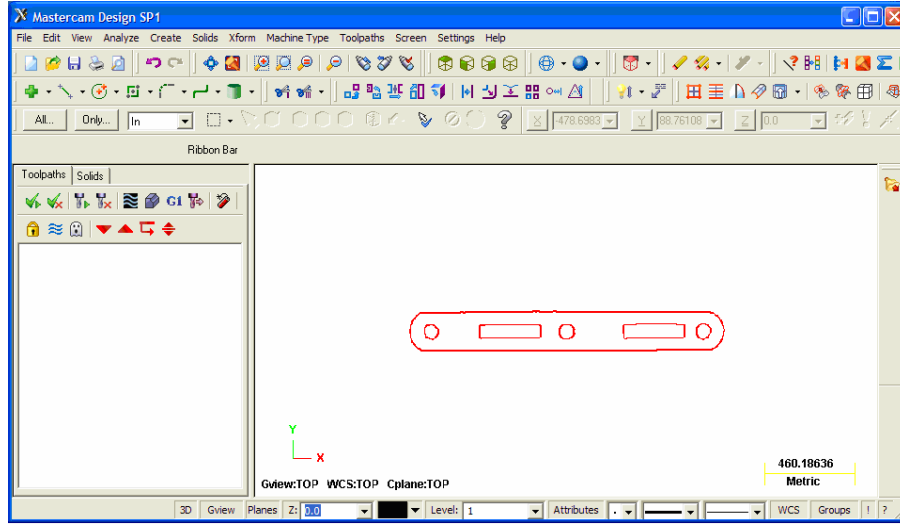


Şekil 4.33 Çözünürlüğü iki kat arttırılmış uygulama 2 görüntüsünün matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü



Şekil 4.34 Kenar bulma işlemi tamamlanmış çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü

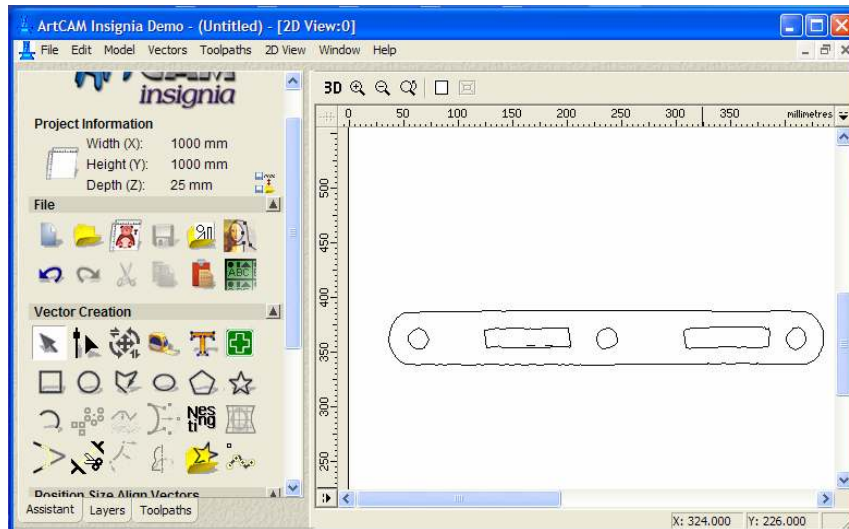
Çözünürlüğünü iki kat arttırılan görüntünün kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarının nokta bulutu şeklinde MasterCAM penceresindeki görünümü şekil 4.35’de verilmektedir.



Şekil 4.35 MASTERCAM penceresinde çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün nokta bulutu şeklinde gösterimi

4.3.5 Vektörizasyon Uygulaması

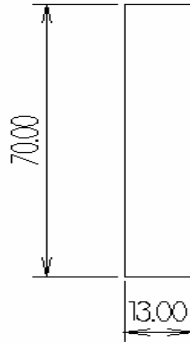
Dijital görüntünün ArtCAM Insignia Demo programına aktarılıp vektörizasyon uygulaması yapıldığında elde edilen görüntünün program penceresindeki görünüşü şekil 4.36’da gösterilmektedir. Burada elde edilen görüntü CAD programına *.dwg veya *.dxf olarak aktarılabilir.



Şekil 4.36 Vektörizasyon uygulaması

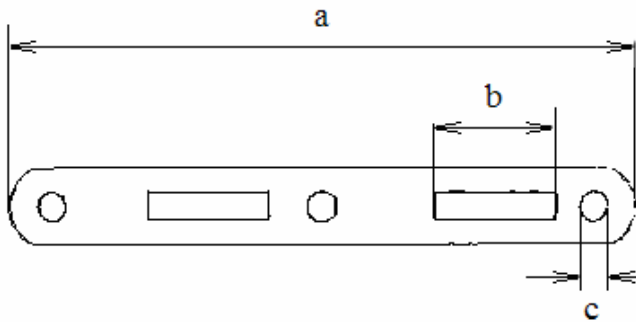
4.3.6 Boyut ölçümü

Dijital kamera dik olarak şekil 4.1’deki gibi pozisyonlanarak parçanın fotoğrafı çekilmiştir. Fotoğraf çekilirken elde edilen sonuçlarda ışık, perspektif çok etkili olmuştur. Perspektif tüm fotoğraflar aynı konumda çekilerek çözülmüştür. Kamera ile parça arasındaki mesafe ve açı her görüntü için aynıdır. Fotoğraf bilgisayara aktarıldığında kamera ile arasındaki mesafeden dolayı boyut bilgileri değişmiş olarak gelir. Bu ilk fotoğrafın gerçek boyutları ile CAD görüntüsünde elde edilen boyutlar arasında bir katsayı bulunur. Bu katsayıyı bulmak için şekil 4.37’de temsili görüntüsü ve boyutları verilen parça gerçek boyutuyla karşılaştırılmıştır. CAD de elde edilen model scale komutu kullanılarak perspektif etkisinden kurtulunur. Kullanılan scale katsayısı 0.32 ‘dir



Şekil 4.37 Oranlama için kullanılan parçanın temsili görüntüsü ve boyutları

Elde edilen iki boyutlu CAD modelin boyutları şekil 4.37’de verilmektedir.

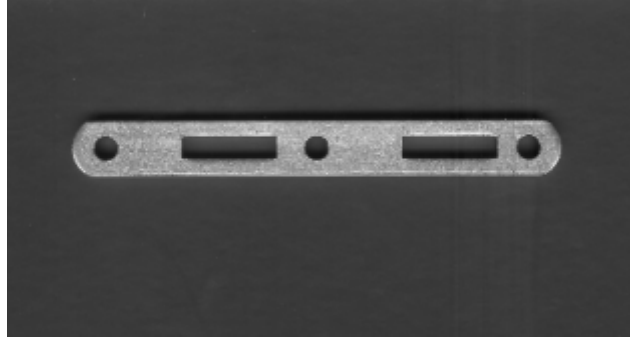


	Gerçek	CAD
a	128	128.32
b	25	24.96
c	6	5.76

Şekil 4.38 İki boyutlu CAD modelin boyutlandırılması

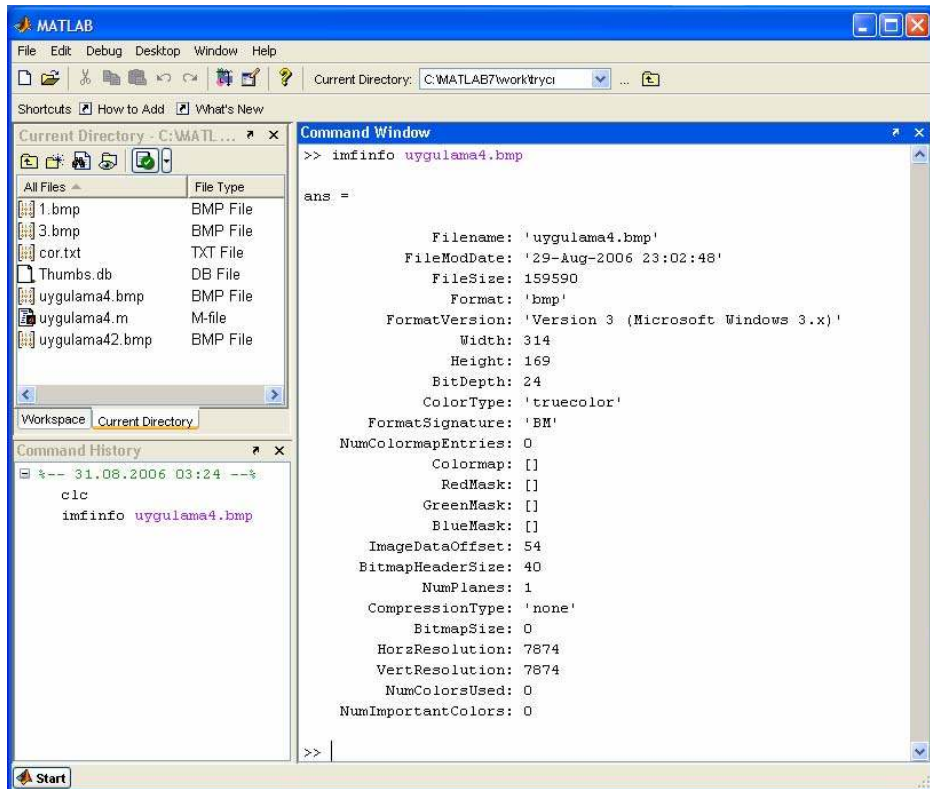
4.4 Uygulama 4 (Tarayıcıdan Alınan Bağlantı Elemanı Görüntüsünden Veri Eldesi)

Uygulama 3 deki parçanın görüntüsü tarayıcı ile alınmıştır. (Şekil 4.39). Görüntü bitmap formatındadır.



Şekil 4.39 4.Uygulama parçası

Şekil 4.39’de gösterilen uygulama 4 parçası görüntüsünün matlab penceresindeki görüntü bilgisi şekil 4.40’da gösterilmektedir.

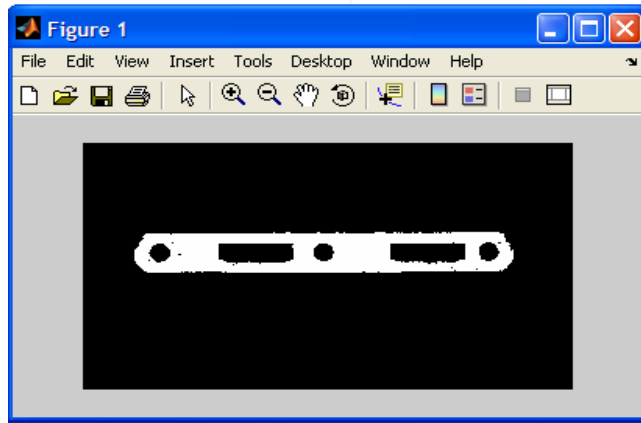


Şekil 4.40 Uygulama 4 görüntüsünün Matlab penceresindeki görüntü bilgisi

4.4.1 İkili Siyah Beyaz (Binary) Görüntünün Elde Edilmesi

Görüntü matlab programına aktarılıp binary görüntüye dönüştürmek için `bwboundaries` fonksiyonu kullanılır. Oluşan binary görüntü 0 ve 1'ler içeren bir mantık dizisidir. Binary görüntünün matlab penceresindeki görünümü şekil 4.41'de verilmektedir.

```
M = imread('uygulama4.bmp');           %bitmap görüntünün Matlab programına aktarılması
N=im2bw(M);                             % görüntü binary görüntüye dönüştürülüyor
imshow(N)
```



Şekil 4.41 Binary görüntünün Matlab penceresindeki görünüşü

4.4.2 Görüntü İşleme Yöntemiyle Kenar Bulunması

Bunun için hazırlanan matlab yazılımı kullanılmaktadır. Matlab'de hazırlanan program ile görüntüye ait sınır çizgisi bulunur. Bu şekilde parçanın iki boyutlu konturlarına ulaşılmıştır. Bu köşelerin her satır ve her sütununu aynı zamanda sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını göstermektedir. m file dosyasının çalışması sonucu elde edilen kenarları bulunmuş görüntü Şekil 4.42 'de, bu görüntünün matlab penceresindeki görüntü bilgisiye Şekil 4.43'de verilmiştir.

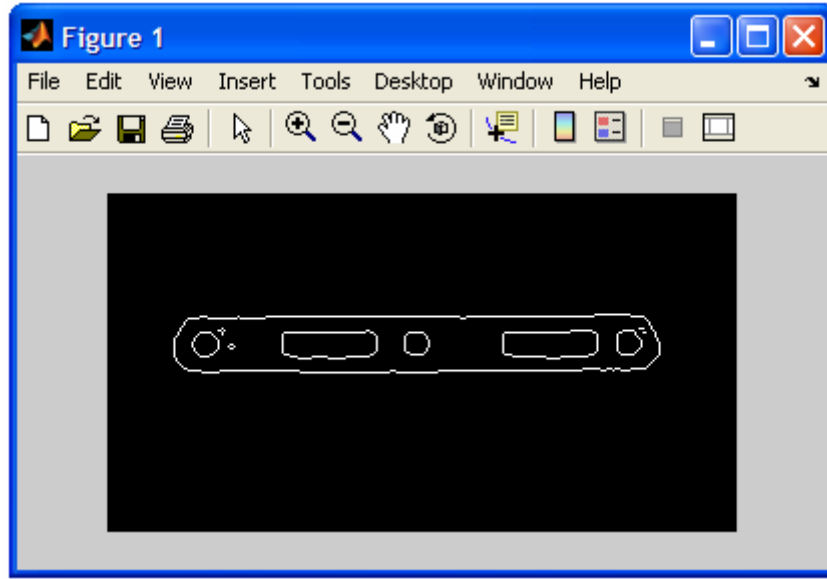
İşlem Basamakları;

Resim Matlab programı tarafından okunur

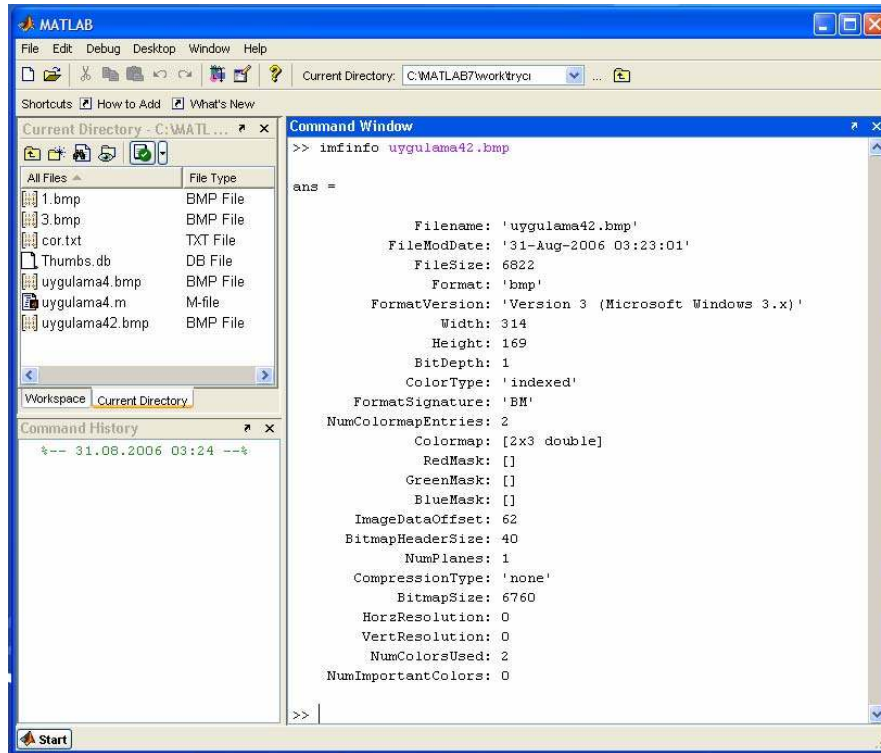
Binary görüntüye çevrilir

Binary görüntü okunur

Kenar bulma işlemi yapılır



Şekil 4.42 Uygulama 4'ün Matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü



Şekil 4.43 Kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü

Kenar bulunmuş görüntü sınırlarda matrisin aldığı değerler 1'dir. Bu yüzden 1'leri bulan sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını gösteren matlab programı yazılır. Bunun sonucunda .txt uzantılı text dosyası oluşmaktadır.

İşlem Basamakları;

Resim Matlab programı tarafından okunur

Binary görüntüye çevrilir.

Binary görüntü okunur.

Kenar bulma işlemi yapılır.

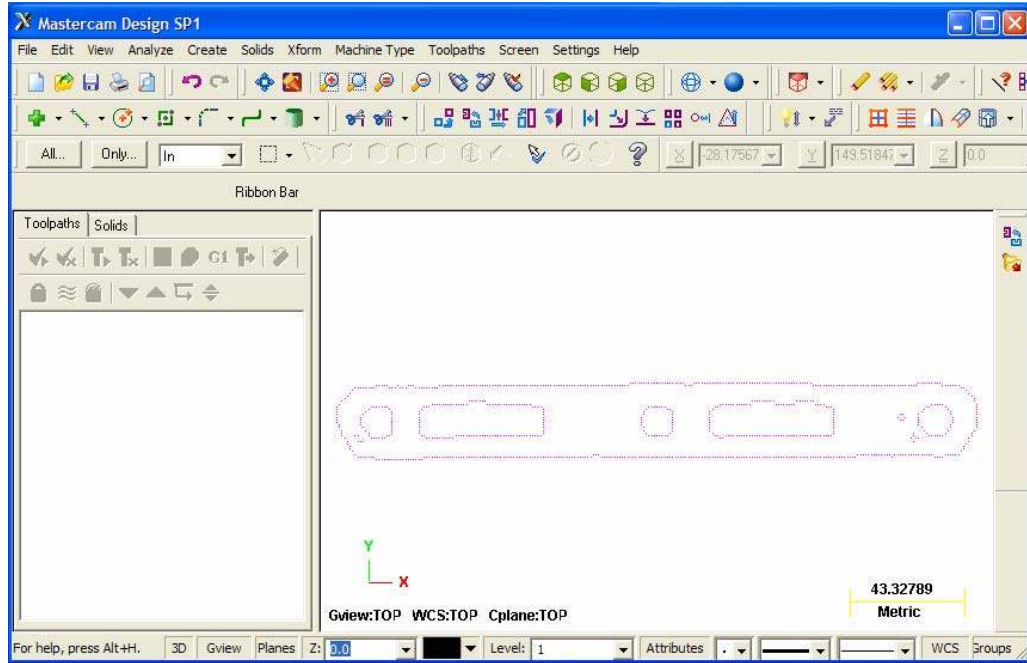
Kenarı bulunmuş görüntünün kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatları bulunur.

Boyut değişmeden çözünürlük istenen oranda arttırılır.

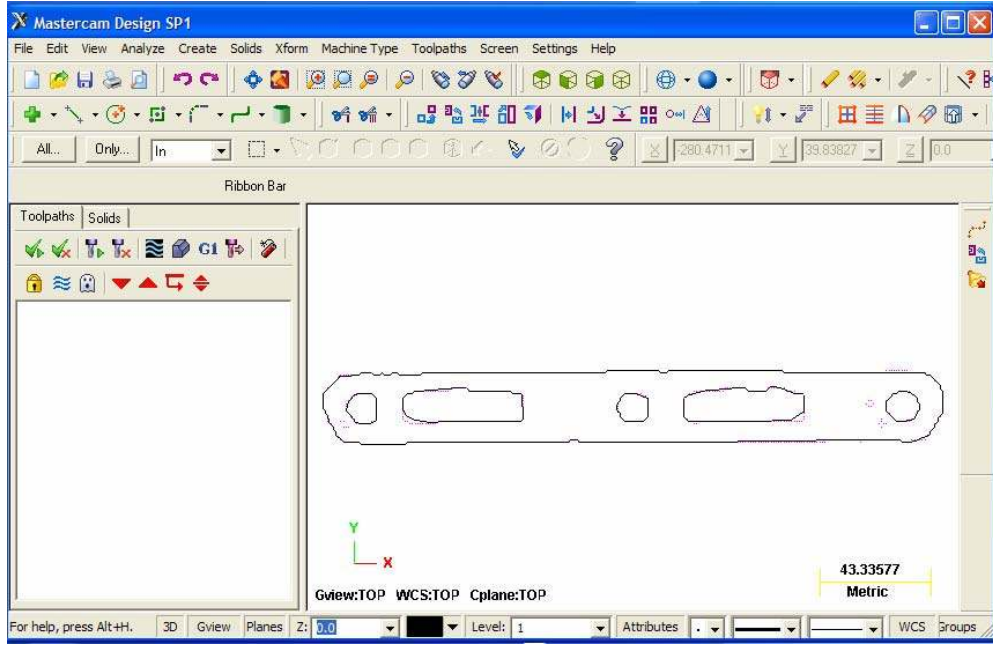
Koordinatlar txt dosyasına yazdırılır.

4.4.3 CAD Programıyla 2 Boyutlu Modelleme

Diziler halinde alınan piksel koordinatları, MASTERCAMX programına, ASCII formatının algılayabileceği *.txt uzantısıyla gönderilir. Bu şekilde CAD programında piksel koordinatları, 2D nokta bulutu halinde ekrana getirilmiş olur (Şekil 4.44). Eğri uydurma metoduyla bu noktalardan geçen bir “spline” ise Şekil 4.45’de gösterilmektedir.



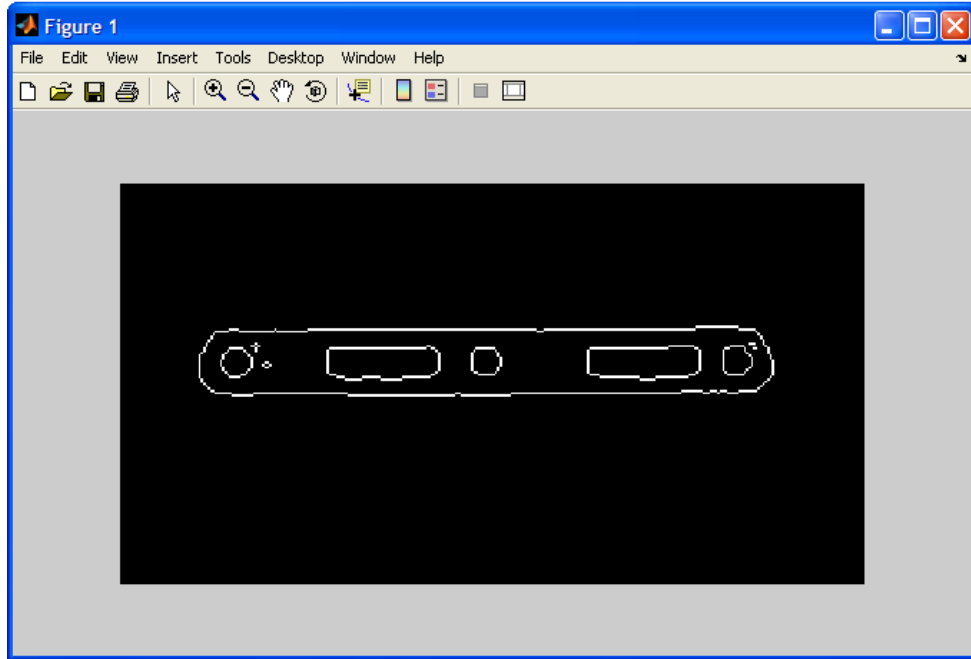
Şekil 4.44 Uygulama 4’ün MasterCAM penceresinde nokta bulutu şeklinde gösterimi



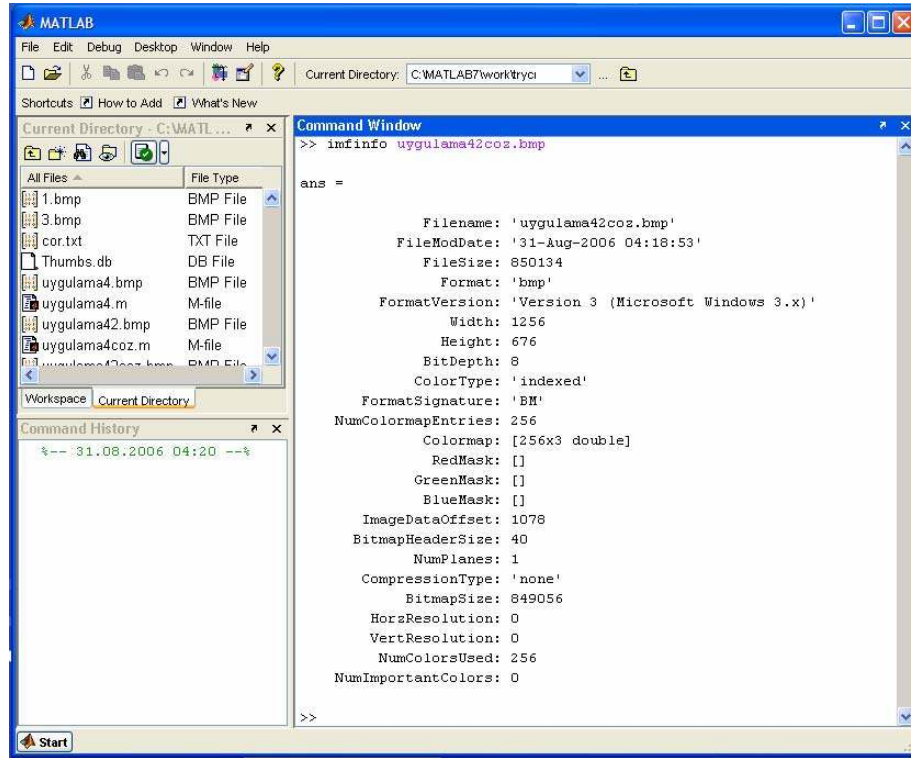
Şekil 4.45 Kapalı bir spline eğrisi olarak gösterimi

4.4.4 Çözünürlüğü İki Kat Arttırılmış Görüntü İçin İşlemlerin Tekrarlanması

Görüntünün çözünürlüğünü arttırmak için matriste buldurulan iki tane 1 değerinin arasına bir tane daha 1 değeri eklenir.

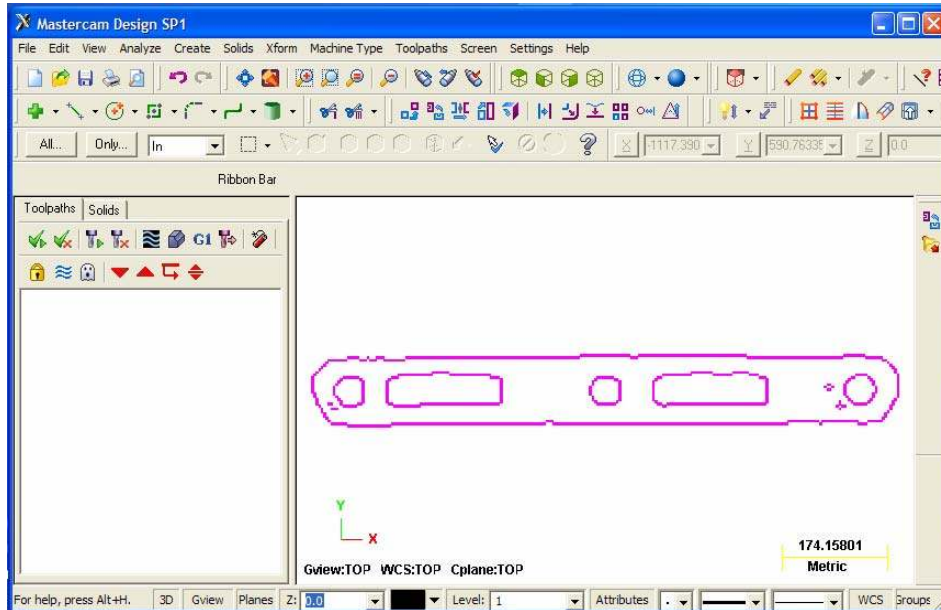


Şekil 4.46 Çözünürlüğü iki kat arttırılmış uygulama 2 görüntüsünün matlab yazılımı sonunda kenar bulma işlemi tamamlanmış görüntüsü



Şekil 4.47 Kenar bulma işlemi tamamlanmış çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün görüntü bilgisinin, Matlab penceresindeki görünüşü

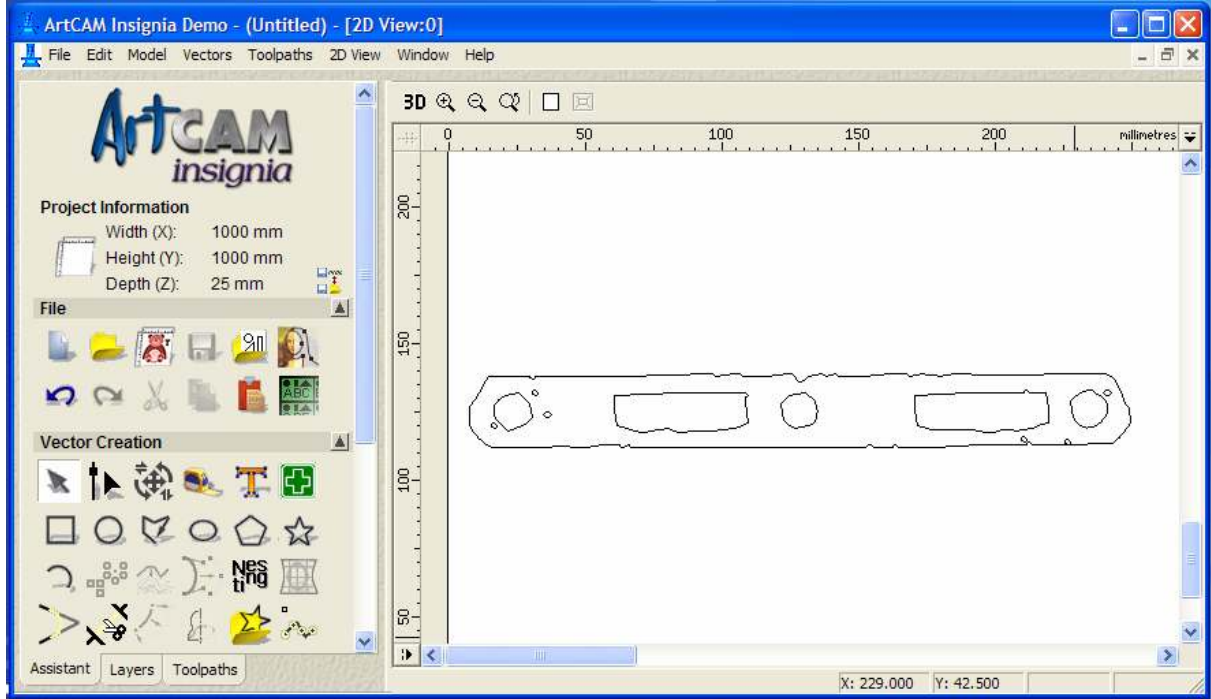
Çözünürlüğünü iki kat arttırılan görüntünün kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarının nokta bulutu şeklinde MasterCAM penceresindeki görünümü şekil 4.48’de verilmektedir.



Şekil 4.48 MASTERCAM penceresinde çözünürlüğü iki kat arttırılmış görüntünün nokta bulutu şeklinde gösterimi

4.4.5 Vektörizasyon Uygulaması

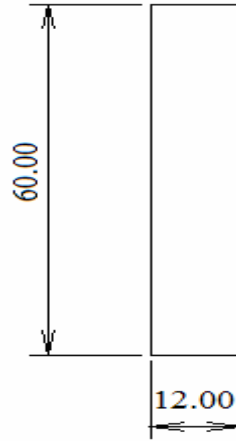
Dijital görüntünün ArtCAM Insignia Demo programına aktarılıp vektörizasyon uygulaması yapıldığında elde edilen görüntünün program penceresindeki görünüşü şekil 4.49’da gösterilmektedir. Burada elde edilen görüntü CAD programına *.dwg veya *.dxf olarak aktarılabilir.



Şekil 4.49 Vektörizasyon uygulaması

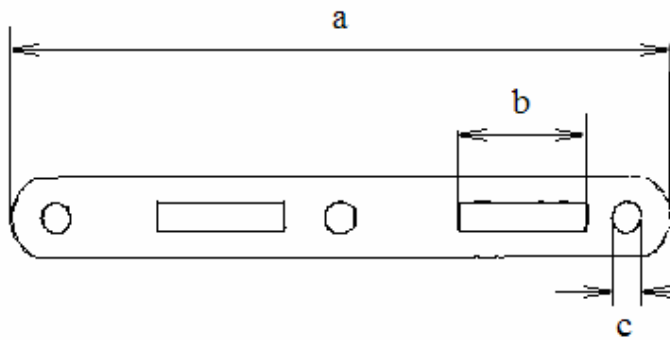
4.4.6 Boyut ölçümü

Tarayıcıda şekil 4.1’deki gibi pozisyonlanarak parçanın görüntüsü alınmıştır. Görüntü alınırken elde edilen sonuçlarda ışık, perspektif çok etkili olmuştur. Parça CAD’e aktarıldığında boyut bilgileri değişmiştir. Gerçek boyutları ile CAD görüntüsünde elde edilen boyutlar arasında bir katsayı bulunur. Bu katsayıyı bulmak için şekil 4.50’de temsili görüntüsü ve boyutları verilen parça gerçek boyutuyla karşılaştırılmıştır. CAD de elde edilen model scale komutu kullanılarak perspektif etkisinden kurtulunur. Kullanılan scale katsayısı 0.53 ‘dür



Şekil 4.50 Oranlama için kullanılan parçanın temsili görüntüsü ve boyutları

Elde edilen iki boyutlu CAD modelin boyutları şekil 4.51’de verilmektedir.



	Gerçek	CAD
a	128	128.26
b	25	24.91
c	6	6.89

Şekil 4.51 İki boyutlu CAD modelin boyutlandırılması

5. SONUÇLAR

Sayısal görüntü işleme bilgisayar yardımıyla görüntülerin işlenmesi ve yorumlanmasıdır. Görüntü işleme tıp, kriminoloji, savunma sanayi gibi alanlar dışında kalite kontrol, robotlar, kaynak sistemleri ve ölçmede de kullanılır.

Görüntü işlemenin birçok alanda uygulanabilmesi, büyük yenilikler ve kolaylıklar sağlaması bu alanda çalışan insan sayısını ve yapılan çalışmaları arttırmıştır. Bunun sonucu olarak görüntü işleme alanında yetişmiş eleman açığı ortaya çıkmıştır. Bu yüzden ülkemizde ve daha birçok ülkedeki üniversitelerde görüntü işlemeye yönelik eğitim programları başlamıştır. Bu dersler lisans ve lisansüstü seviyesinde olup önemleri artmaktadır. Eğitim programları ilgili bölümün amacına uygun olarak güncellenip geliştirilerek, kullanılacak araçlar tespit edilerek gerekli uygulamalara göre yeniden düzenlenmelidir.

Yapılan dört ayrı uygulamada parçaların görüntü bilgileri MATLAB Mühendislik yazılımında hazırlanan programa aktarılmıştır. Bu program vasıtasıyla parçaların kenar bilgilerine ulaşılarak her görüntüye ait sınır çizgisi oluşturulmuştur. Bu çizgi aynı zamanda sınır piksellerinin kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) koordinatlarını göstermektedir. Bu bilgi ile MASTERCAMX programında parçaların iki boyutlu CAD modelleri elde edilmiştir.

Burada uygulama sonuçlarının gerçek boyutlarla CAD deki boyutlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Uygulama 2			Uygulama 3			Uygulama 4		
	Gerçek	CAD		Gerçek	CAD		Gerçek	CAD
a	94	95.68	a	128	128.32	a	128	128.26
b	63	63.36	b	25	24.96	b	25	24.91
c	24	24.96	c	6	5.76	c	6	6.89

Çalışma sonucunda % 0.16 hata ile boyut ölçüm yapılabilmiştir. (Uygulama 3 b'deki sonuç) Bu da sistem doğru yerleştirilip ışık, perspektif ve gölge etkisinde kalınmadığında boyut ölçümünde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Çözünürlüğü arttırılmış görüntü ile daha net ve keskin kenarlar belirginleşir. Sınırlar daha keskindir. Bu şekilde elde edilmiş CAD verisi ile parça üretilmek istediğinde daha verimli sonuçlar alınır. Model son halini aldıktan sonra, modelin üretimi için gerekli takım yolları ve

CNC parça programı bulunabilir.

Çözünürlük ne kadar artarsa bulunan sonuç o kadar iyi olur ama işlem süresi uzayacaktır.

Çalışmayı olumsuz yönde etkileyen faktörler ışık, perspektif ve gölge etkisidir. Bunlar kapalı bir odada iyi bir ışıklandırma ve ölçüm için hazırlanmış sabit bir düzenek ile çözülebilir. Burada ayrıca parçanın doğru konumlanması da önemlidir. Tüm ölçümlerde numune ve kontrol parçasının kameraya olan açısı ve mesafesi aynı olmalıdır.

Bu çalışmada elde edilen bilgiler bu sistemin üç boyutlu parçalara da uygulanabileceğini göstermektedir. Ama bu işlem süresinin uzaması gelişmiş donanım ihtiyacı gibi sorunları yanında getirmektedir.

İki boyutlu ve üç boyutlu nesne tanımlamasının yapılması önemli bir teknolojik gelişmedir. Böyle bir sistemin gelişmesi halinde robotlar gördükleri nesneleri çok daha kolay algılayabilir. Otomatik pilotlara sahip araçlar ve fabrikalarda kullanılan seri üretim robotları yapmak çok daha kolay ve güvenli hale gelecektir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalar basamak oluşturacağını düşündüğümüz bu çalışma vasıtasıyla; yaygın olarak kullanılan bir görüntü işleme yazılımı ve CAD programı bütünleşik olarak çalışarak iki boyutlu parçaların tanımlanmasında, sınırların çıkarılmasında ve boyut ölçümünde başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Atlı, A.V., Urhan, O., Sönmez, M., “Kesici takım aşınmasının görüntü işleme ile belirlenmesi” (2005) 13. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı Bildirileri Kitabı, 16-18 Mayıs 2005, pp. 84-86, Kayseri
- Bhanu, B., HO, C. C., (1987) “CAD Based Robot Vision”, IEEE Journal Computer, pp 13-35
- Canbek, S., Adar, N., Uzun, İ., “Gri Tonlamalı Gerçek Resimden 3 Boyutlu Biçim Oluşturma” Anadolu Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir
- Castleman, K.R., (1996) Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey
- Chan, Y.H., (2004) “Fundamentals of Digital Image Processing”
- Chan, V.H., Bradley, C., Vickers, G.W., (1997) “Neural network stereo image segmentation for directed coordinate measuring machine part programming” IEEE Pacific RIM Conference on Communications, Computers, and Signal Processing - Proceedings, v 2, p 547-550
- Dereli, T., Baykasoğlu, A., (2004) “Ters Mühendislik” , MakinaTek Sayı 77
- Dori, D., Liu, W., (1999) Sparse Pixel Vectorization: An Algorithm and Its Performance Evaluation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 21, No. 3, 202-215
- Eroğlu, M., Ünal, Y., Aktürk, N., (1999) “Görüntü İşleme ile Boyut Ölçümü” Cilt: 12 No:2 Ankara Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
- Gao, P., Liu, Z., Peng, X., (2004) “Large data processing based on simplification and subdivision” Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, v 5444, Fourth International Conference on Virtual Reality and Its Applications in Industry, p 35-41
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., (2002) Digital Image Processing, Prentice Hall,
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., (2004) Digital Image Processing Using Matlab, Prentice Hall,
- Görür, V., Akdoğan, A.N., ve Yurci, M.E., (2003) “Optik Ölçme Yöntemlerinin Sac ve Plastik Parçaların İmalatındaki Sayısallaştırma, Tersine Mühendislik ve Muayene Prosesleri Yönünden Sağladığı Yararlar” Mühendis ve Makina, 527.
- Huang, C.N., Motavalli, S., (1994) “Reverse Engineering of Planar Parts Using Machine Vision”, Computers and Engineering Vol 26, No 2, pp 369-379
- Image Processing Toolbox For Use with MATLAB User’s Guide Version 5
- Karabörk, H., Gündüz, M., Bildirici, İ.Ö., Yıldız, F., (2005) “Raster görüntülerin vektörizasyonları ve Jeodezi ve Fotogrametri mühendisliğindeki önemi” TMMOB Harita ve Kadastro Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Komatsu, T., Uno, S., Inoue, M., Sekiguchi, S., (1987) “An Automated Inspection System for Chip Electronic Parts on a Printed Circuit Board”, Annals of the CIRP, Vol.36, pp 399-402
- Liu, W., Dori, D., (1999) From Raster to Vectors: Extracting Visual Information From Line Drawing, Pattern Analysis & Applications (1999) 2, 10-21.
- McAndrew, A., (2004) “An Introduction to Digital Image Processing with Matlab” School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology,

- Milutionvic, D, S., Turchan , M, P., Kimura , F., Milacic, V,R., (1987) “A Model-Based Vision System for Industrial Parts Using a Small Computer”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol.3 No.4 439-450
- Peng, Q,J., Loftus, M., (1998) “New approach to reverse engineering based on vision information” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v 38, n 8, p 881-899
- Peng, X., Zhang, Z., Tiziani, H,J., (2002) “3-D imaging and modeling - Part II: Integration and duplication” *Optik (Jena)*, v 113, n 10, p 453-458
- Shum, S,S,P., Yu, K,M., Lau, W,S., Yuen, M,M,F., (2005) “Low-cost wireframe-to-solid implementation for reverse engineering” *Technical Paper- ociety of Manufacturing Engineers. MS*, n MS98-159, 7p
- Song, J., Su, F., Tai, C,T., Cai, S., (2002) *An Object-Oriented Progressive-Simplification-Based Vectorization System for Engineering Drawings: Model, Algorithm, and Performance*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 8, 1048-1060.
- Tai, C,C., Huang, M,C., (2000) *The processing of data points basing on design intent in reverse engineering*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*,
- Tonshoff, H,K., Janocha, H., Seidel, M., (1988) “Image processing. in a production environment”, *Annals CIRP*, 37(2), pp. 579-589.
- Tombre K., 1998. *Analysis of Engineering Drawings: State of the Art and Challenges*, *Proceedings of the Graphics Recognition-Algorithms and Systems*, 257-264
- Werner A., Skalski, K., Piszczatowski, S., Lechniak Z., Owieszkowski W., (1998) *Reverse Engineering of Free-Form Surfaces*, *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 73, pp. 128-132
- Yan, J., Lazaro, A,D,S., (2003) “Reverse Engineering of Sheet Metal Parts Using Machine Vision”, *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, v 1 B, p 1085-1095
- Yang, J., Lee, N,L., Menq, C,H., (1995) “Application of computer vision in reverse engineering for 3D coordinate acquisition” *American Society of Mechanical Engineers, Manufacturing Engineering Division, MED*, v 1, *Concurrent Product and Process Engineering*, , p 143-156
- Young, I.T., Gerbrands, J.J., Viliet, L.J.V., (1998) *Fundamentals of Image Processing*,

INTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.mathworks.com
- [2] www.mastercam.com
- [3] www.imageprocessingplace.com
- [4] www.cagcadcam.com
- [5] www.ablesw.com/r2v
- [6] www.adobe.com/products/illustrator
- [7] www.algolab.com/Photovector.htm
- [8] www.autodesk.com
- [9] www.corel.com
- [10] www.imsrv.com/rasterfratz
- [11] www.rastervect.com
- [12] www.trixsystems.com/tractrix.html
- [13] www.vextrasoft.com
- [14] www.artcam.com
- [15] www.ucgenyazilim.com
- [16] www.gom.com
- [17] www.defnemuihendislik.com
- [18] www.renishaw.com
- [19] www.laserdesign.com
- [20] www.rapidform.com

EKLER

Ek 1 Görüntü alma cihazlarının teknik özellikleri

EK 1 Görüntü alma cihazlarının teknik özellikleri

HP Office Jet 6110 All-in series'in Tarayıcı özellikleri

Oğe	Açıklama
Çözünürlük	1200x2400 dpi optik, 19200 dpi ye kadar arttırılabilir
Renk	48-bit renkli 8-bit gri tonlama (256 gri düzeyi)
Arabirim	TWAIN uyumlu
Tarama Alanı	A4

HP m425 dijital fotoğraf makinesinin Teknik Özellikleri

Sensör	1/2.5 inç CCD 5.0 megapiksel
Görüntü Boyutu	2576 x 1920 2080 x 1552
Video Çekimi	Format: MPEG-1 QVGA 320 x 240 @ 20 fps
Objektif	3x optik zoom F 2.8 - 4.8
Dijital Zoom	6x
Deklanşör Hızı	2 - 1/2000 sn
Fotoğraf Çekimi	Otomatik, sport, portre, manzara, makro, hızlı çekim
Otomatik Çekim	10 sn gecikmeli
Devamlı Çekim	2 fps ile arka arkaya 3 kare
Flaş	Otomatik, Kırmızı göz önleyici, Her zaman flaş, Flaş iptal 2.1-3.8 m
Vizör	1.7 inç TFT LCD, 115200 piksel
Bağlantı	USB, dockport
Hafıza	16 MB dahili hafıza, SD kart yuvası
Mercek Odak Yelpazesi	Yaklaşık 0.5 m - sonsuz (normal), 0.12 - 1.0 m (makro)
Ağırlık	140 g (pilsiz), 190 g (pillerle)
Boyutlar	140 g (pilsiz), 190 g (pillerle)
Pil Sistemi	2 AA Alkalın

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	06.09.1978	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1991-1994	Kadir Has Lisesi
Lisans	1995-2002	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı
Çalıştığı kurum	2005-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Müh.Bölümü Mekanik Anabilim Dalı, Araştırma Görevlisi