



**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SANAL MODEL
ÖLÇME VE CANLANDIRMA**

**Hazırlayan
Emre TERCAN**

**Danışman
Prof. Dr. Erkan BEŞDOK**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2012
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SANAL MODEL
ÖLÇME VE CANLANDIRMA
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Emre TERCAN**

**Danışman
Prof.Dr. Erkan BEŞDOK**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FBY-08-359 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

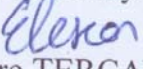
**Ocak 2012
KAYSERİ**

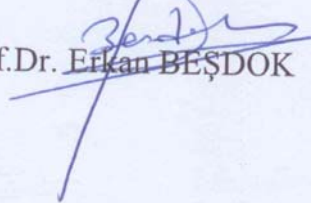
Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Emre TERCAN

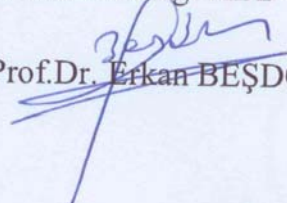
İmza: Alexon

“ Sanal Model Ölçme ve Canlandırma ” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Emre TERCAN

Danışman

Prof.Dr. Erkan BEŞDOK

Harita Mühendisliği ABD Başkanı


Prof.Dr. Erkan BEŞDOK

Prof.Dr.Erkan BEŞDOK danışmanlığında Emre TERCAN tarafından hazırlanan “**Sanal Model Ölçme ve Canlandırma**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

09/01/2012

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Erkan BEŞDOK

Üye : Doç. Dr. Abdurrahman GEYMEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent BOSTANCI

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 17/01/2012 tarih ve 2012/04-08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof.Dr. Necmettin MARAŞLI
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tavsiye ve yönlendirmeleriyle çalışmayı kolaylaştıran; ayrıca disiplinli çalışmamızı sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili danışman hocam Prof.Dr. Erkan BEŞDOK'a teşekkür ederim. Her zaman olduğu gibi, çalışma sırasında da maddi ve manevi yönden desteklerini esirgemeyen aileme de sonsuz teşekkür ederim.

SANAL MODEL ÖLÇME VE CANLANDIRMA

Emre TERCAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2012

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Erkan BEŞDOK

ÖZET

Farklı disiplinlerde üç boyutlu dijital modellere duyulan ihtiyaç, gelişen teknolojiye bağlı olarak artmaktadır. Fotogrametri ve bilgisayarda görme alanlarının önemli bir araştırma konusu olan 3B modeller, nesnelerin 2B imgelerine göre daha anlamlı ve detaylı olması nedeniyle tercih edilmektedir. 3B model elde etmek için geliştirilmiş çok sayıda yöntem bulunmaktadır.

Nesnelere ait 3B model üretiminde kullanılan yöntemler, genel olarak aktif ve pasif modelleme yöntemleri olmak üzere sınıflandırılırlar. Aktif yöntemler, nesne üzerine yansıtılan tarayıcı işaretlerden üç boyut bilgisinin çıkartılması esasına dayanmaktadır. Nesne üzerine yansıtılan işaretler, yapılaşdırılmış ışın demeti, izdüşüren bir projektör, çizgi lazer veya ışık kaynağı olabilir. Pasif tarama yöntemlerinde amaç ise bilgisayarlı görmenin (computer vision) temel problemi olan 2B imgelerden görüntünün üç boyutlu yapısı ile ilgili bilgi çıkarmaktır.

Bu çalışmada üç boyutlu model üretim yöntemlerinden, bir pasif modelleme yöntemi olan silüet tabanlı şekil tarayıcıların çalışma prensipleri anlatılmıştır. Nesnenin 3 boyutlu modeli silüet tabanlı 3DSom (Demo) yazılımıyla modellenmiştir. Xsens Moven Hareket Yakalama Sistemi ile modelin canlandırılmasında kullanılacak hareket verileri elde edilmiştir. 3D Studio Max yazılımı ile model canlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B Model, Silüet Tabanlı Modelleme, Hareket Yakalama, Canlandırma

VIRTUAL MODEL MEASURING AND ANIMATION

Emre TERCAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, January 2012

Thesis Supervisor: Prof.Dr. Erkan BEŞDOK

ABSTRACT

The need for 3D modeling in different disciplines are increasing, depending on the developing technology. 3D models which are important research subjects in photogrammetry and computer vision are preferred because they are more expressive and detailed comparing to 2D images. There are many methods developed to obtain 3D models.

The methods which are used to produce 3D models of objects are generally classified as “active” and “passive” modeling methods. Active methods are based on producing three dimensional information from marks of scanner on objects. The marks can be a structured light beam, a projector, a line laser or a light source. The aim of passive scanning methods is extracting 3D information from 2D images which is a basic issue for computer vision.

In this study, silhouette based three dimensional shape scanners and its operating principles, one of the passive three dimensional model production methods, are explained. The 3D model of the item is modeled by silhouette based 3Dsom(Demo) software. The movement data which is used to animate the model is obtained by Xsens Moven Motion Capture System. 3D Studio Max software is used to animate the model.

Keywords: 3D modeling, Silhouette based modeling, motion capture, animation

İÇİNDEKİLER

SANAL MODEL ÖLÇME VE CANLANDIRMA

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
 GİRİŞ.....	 1

1. BÖLÜM KALİBRASYON

1.1. Kamera Kalibrasyonu.....	3
1.1.1. Lineer Yöntemler.....	5
1.1.2. Lineer Olmayan Yöntemler.....	6
1.1.3. İki Aşamalı Çözümler.....	6
1.2. Tsai Kamera Modeli ve Kamera Parametreleri.....	6

2. BÖLÜM

GÖRSEL MODELLEME YÖNTEMLERİ VE HAREKET YAKALAMA

2.1. Görsel Modelleme Yöntemleri.....	11
2.1.1. Pasif Modelleme Yöntemleri.....	14
2.1.1.1. Gölgeden Şekillendirme (Shape From Shading).....	14
2.1.1.2. Hareketten Şekillendirme (Shape From Motion).....	14
2.1.1.3. Stereo Yöntemler(Shape From Stereo).....	15
2.1.1.4. Shape From Silhoutte (SFS).....	16
2.2. Hareket Yakalama.....	21
2.2.1. İnersiyal Konumlandırma Tabanlı Hareket Yakalama Sistemi.....	23
2.2.1.1. Genel Bilgiler.....	23
2.2.1.2. Gereç, Yöntem ve Donanım.....	23
2.2.1.3. Xsens Moven Sisteminin Çalışma Prensipleri ve Sistem Kalibrasyonu.....	26

3. BÖLÜM

UYGULAMA

3.1. Uygulama Aşamaları.....	30
3.2. Nesnenin Üç Boyutlu Modelinin Üretimi.....	30
3.3. Üç Boyutlu Model Canlandırma.....	46

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4. Sonuç ve Öneriler.....	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
p	İmge Noktası
P	Gerçek Dünya Noktası
M	Resim Merkezi
P_0	Ana Nokta
O	Projeksiyon Merkezi
r_{ik}	Uzaysal Dönme Matrisi Elemanları
R	Uzaysal Dönme Matrisi
DLT	Direkt Lineer Dönüşüm
f	Kamera Odak Uzaklığı
k	Radyal Lens Distorsiyon Katsayısı
S_x	Ölçek Faktörü
(X_i, Y_i)	Dünya Koordinatları
(X_u, Y_u)	Distorsiyonsuz İmge Noktası Koordinatları
(X_d, Y_d)	Distorsiyonlu İmge Koordinatları
(X_f, Y_f)	Sonuç İmge Koordinatları
(d_x, d_y)	x ve y yönündeki komşu sensör elemanları arasındaki mesafe
(C_x, C_y)	Radyal lens distorsiyon merkezi koordinatları
SFS	Shape From Silhouette
vb	Ve benzer şekilde
$3B$	Üç boyut
$2B$	İki boyut
θ	Dönüş açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İmge ve cisim koordinatları arasındaki ilişki.....	4
Şekil 1.2. Pinhole model.....	7
Şekil 1.3. Perspektif projeksiyonlu ve radyal distorsiyonlu Tsai kamera modeli.....	8
Şekil 2.1. Üç boyutlu modelleme yöntemleri.....	13
Şekil 2.2. Stereo görüş.....	15
Şekil 2.3. Siluet tabanlı yöntemlerin uygulama aşamaları.....	17
Şekil 2.4. Görsel zarf için hacim kesiştirme.....	18
Şekil 2.5. Nesnenin fotoğraflarının elde edilmesindeki dönüklükler.....	19
Şekil 2.6. MTx algılayıcısı.....	24
Şekil 2.7. MTx-L algılayıcısı.....	24
Şekil 2.8. Xbus Master ile bilgisayar arasındaki veri trafiği için kablosuz alıcı.....	25
Şekil 2.9. Moven Studio- veri akış mekaniği.....	25
Şekil 2.10. Xsens Moven sisteminin genel görünümü.....	26
Şekil 2.11. İnersiyal algılayıcıların yerleşimi.....	27
Şekil 2.12. T pozisyonu duruşu.....	29
Şekil 3.1. Uygulama akış şeması.....	30
Şekil 3.2. 3DSom sistemi ve nesnenin farklı açılardan çekilmiş fotoğrafları.....	32
Şekil 3.3. Yazılıma farklı açılardan çekilmiş fotoğrafların yüklenmesi.....	33
Şekil 3.4. Kamera kalibrasyon aşamasının başlatılması.....	33
Şekil 3.5. Kalibrasyon paterninin fotoğraflarının yazılıma aktarılması.....	34
Şekil 3.6. 3DSom kalibrasyon paterni.....	34
Şekil 3.7. 3DSom kalibrasyon altlığı.....	35
Şekil 3.8. Kalibrasyonun gerçekleştirilmesi ve kaydedilmesi.....	35
Şekil 3.9. Nesne bölütleme.....	36
Şekil 3.10. Nesne siluetlerinden yüzey örgüsünün tanımlanması.....	37
Şekil 3.11. Nesnenin tel kafes modeli için parametrelerin girilmesi.....	38
Şekil 3.12. Yüzeyin en uygun hale getirilmesi.....	38
Şekil 3.13. Doku haritasının elde edilmesi.....	39
Şekil 3.14. Üç boyutlu gösterim şekilleri.....	40
Şekil 3.15. Nesnenin tel çerçeve modelleri.....	41

Şekil 3.16. 20000 üçgenden oluşan nesnenin tel çerçeve modeli	42
Şekil 3.17. Nesnenin katı modelleri.....	43
Şekil 3.18. 20000 üçgenden oluşan nesnenin katı modeli.....	44
Şekil 3.19. 1300 üçgenden oluşan nesnenin doku kaplı modeli.....	45
Şekil 3.20. 5000 üçgenden oluşan nesnenin doku kaplı modeli	45
Şekil 3.21. 20000 üçgenden oluşan nesnenin doku kaplı modeli.....	46
Şekil 3.22. XSens Moven hareket yakalama sistemi düzeneği.....	48
Şekil 3.23. Kalibrasyon aşamasına ait temel duruş.....	48
Şekil 3.24. Moven ortamında hareketlerin görüntülenmesi.....	49
Şekil 3.25. Biped objesinin seçilmesi ve sahneye yerleştirilmesi.....	50
Şekil 3.26. Biped'in modele uygun olarak yerleştirilmesi.....	51
Şekil 3.27. Physique Modifier'da modelin riglenmesi ve ince ayarların yapılması...	53
Şekil 3.28. Time Configuration ile zaman ayarlamaları.....	54
Şekil 3.29. Render üretimi ve canlandırma.....	55
Şekil 3.30. Canlandırılmış modele ait görüntü kareleri.....	56

GİRİŞ

Fotogrametri ve bilgisayarda görme alanlarının önemli bir araştırma konusu olan üç boyutlu modeller, nesnelerin iki boyutlu imgelerine göre daha anlamlı ve detaylı olması nedeniyle tercih edilmektedir. Nesnelerin üç boyutlu modellerinin geriçatımında kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Üç boyutlu nesne geriçatımı renk bilgisi ve üç boyut geometrisinin üretilmesini kapsamaktadır [1]. 3B nesne geriçatım yöntemleri aktif ve pasif yöntemler olmak üzere 2 kategoriye ayrılabilir [2]. Aktif yöntemler genel olarak güvenilir derinlik bilgisini elde etmek için özel aygıtlar kullanırlar [3]. Pasif modelleme yöntemlerinde, nesnelerin fotoğrafları kullanılmakta ve genellikle özel donanımlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Gölgeden (shape from shadow), çift bilgiden (shape from stereo), hareketten (shape from motion), silüetten (shape from silhouette), hacimsel birimlerin renklendirilmesi (voxel coloring), uzay oyma (space carving), gölge ile erim tarama (shadow scanning) pasif tarama yöntemleri olarak sıralanabilir [4].

Bu tez çalışmasında, ilk olarak silüet kullanarak nesnenin taslak modeli üretilmekte ve model iyileştirilmektedir. Üretilen model üzerine yüzey dokuları da eklenerek gerçekçi bir görünüm kazanması sağlanmaktadır. Modele hareket vermek için hareket verileri hareket yakalama arabirimi ile elde edildikten sonra, üretilen modele hareket verilerek model canlandırılmaktadır.

Nesnenin 3B modelinin üretiminde nesnelerin silüet imgelerini kullanarak, bir nesnenin 3B modelinin üretimini sağlayan ve pasif tarama yöntemlerinden olan silüet tabanlı (shape from silhouette) tarayıcılar kullanılmıştır. Çalışmada bu yöntemi kullanan 3DSom yazılımı kullanılmıştır. Bu sistem, düz bir zemin üzerine yerleştirilmiş bir ölçümleme paterni, nesneyi yükselterek gölge etkisini engelleyen arka plan ve zeminle aynı renkte olan bir destek, 3B modeli üretilen nesne ve sabit bir kameradan oluşmaktadır. Nesnenin üç boyutlu modelinin üretilmesinde hem maliyet açısından hem

de nesneleri modelleme açısından güçlü bir teknoloji olan bu yöntemde, modellenecek nesneye ait fotoğrafların elde edilmesi ve kamera kalibrasyonu, model geometrisinin çıkarılması ya da siluet çıkartımı ve modelin yüzey görüntüsünün çıkarılması gibi işlemler gerçekleştirilmektedir.

İnsan hareketlerinin analizi, biyomekanik, navigasyon, eğitim-simülasyon, sanal gerçeklik ve animasyon gibi uygulamalarda hareket yakalama teknolojisinin önemi gittikçe artmaktadır [5,6]. Hareket yakalama, hareketin kaydedilerek sayısal bir modele dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Uygulamada elde edilen 3B modelin canlandırılmasında kullanılacak insan vücuduna ait hareket verilerinin yakalanmasında inersiyal tabanlı bir hareket yakalama sistemi olan Xsens Moven hareket yakalama sistemi kullanılmıştır.

Nesnenin 3B modelinin üretilmesi ve canlandırmada kullanılacak hareket verileri elde edildikten sonra canlandırma aşamasında bir modelleme, görselleştirme ve canlandırma yazılımı olan 3D Studio Max kullanılmıştır.

Tez çalışmasının 1. bölümünde kamera kalibrasyonu hakkında bilgiler verilmiş, 2. bölümde literatürde tanımlı 3B ölçme yöntemlerinden bahsedilmiş ve hareket yakalama teknolojileri genel olarak değerlendirilmiştir. 3. bölümde uygulama anlatılmış, 4. ve son bölümde de sonuçlar ortaya koyulmuştur.

1. BÖLÜM

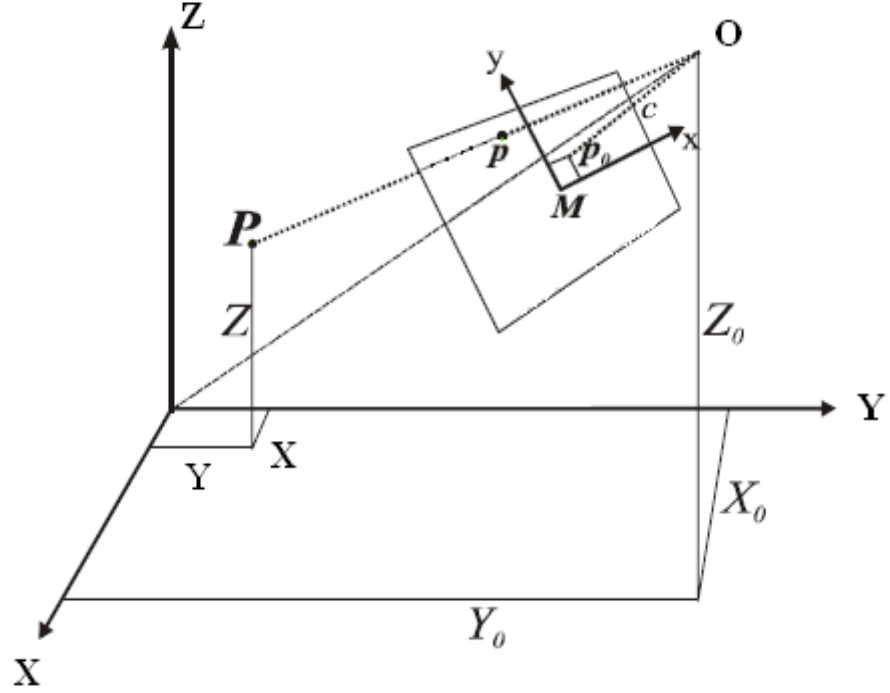
KALİBRASYON

1.1. Kamera Kalibrasyonu

Gerçek değer ile ölçüm yapan bir cihazın elde ettiği değer arasındaki ilişkiyi belirleme kalibrasyonun kelime anlamı olarak bilinmektedir [7]. Bilgisayarlı görme ve fotogrametri alanlarında önemli bir adım olan kamera kalibrasyonu, üç boyutlu dünya koordinat sistemi ve iki boyutlu resim koordinat sistemi arasındaki ilişkinin tanımlanmasını sağlar [8]. Kamera kalibrasyonunda, kamera parametrelerinin elde edilmesi temel hedeftir. Kamera parametreleri genel olarak iç ve dış kamera parametreleri olarak bilinmektedir. Kameranın iç geometrisini ve distorsiyonlarını belirleyen kamera iç parametreleri, kamera koordinat sistemi ve resim koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi tanımlarken, kameranın uzayda konum ve yönelimini belirleyen dış parametreler kamera koordinat sistemi ve dünya koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi tanımlar. Bu parametrelerin kameralar açısından karakteristikleri değerlendirilirse, iç parametreler aynı kamera ile çekilmiş bütün görüntüler için aynıyken dış parametreler ise kameranın konumunu ve dönüklüğünü belirttiği için her görüntü için farklıdır [9].

Siluet tabanlı tarayıcılarda, kamera kalibrasyonu ile elde edilen izdüşüm merkezlerinden siluet kenarlarına doğru tanımlanan doğruların sınırlandığı siluet konilerinin kesiştirilmesi ile üç boyutlu modele ulaşılması açısından kalibrasyon aşaması önemlidir [10]. Kamera parametrelerinin bulunması, bir cismin tanımlanmasından önceki ilk aşamadır. Nesnelere ait üç boyutlu modellerin oluşturulabilmesi için; iki boyutlu (u,v) resim düzlemi ile üç boyutlu (X,Y,Z) dünya koordinat sistemi arasındaki dönüşümü tanımlayan kamera kalibrasyonu yapılmalıdır. Kamera kalibrasyon işleminde iki boyutlu resim düzlemi ile üç boyutlu dünya koordinat sistemi arasındaki ilişki modellenerek kameralara ait parametreler hesaplanır [8].

Kolinearite eşitliği kamera kalibrasyonunun en temel eşitliğidir. Geliştirilen kalibrasyon yöntemlerinin temeli kolinearite eşitliğine dayanmaktadır. Kolinearite eşitliği kamera parametrelerini kullanarak cisim koordinatları ile resim koordinatları arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır. İmge noktasının (p) koordinatları (x,y) ve nesne noktasının (P) koordinatları (X,Y,Z) arasındaki ilişki Şekil 1.1’de gösterilmiştir [9].



Şekil 1.1. İmge ve cisim koordinatları arasındaki ilişki

Burada;

O : Projeksiyon Merkezinin koordinatları (X_0, Y_0, Z_0)

P₀ : Ana nokta (Principal point) koordinatları (x_0, y_0)

M : Resim Merkezi

P : Gerçek dünya noktası koordinatları (X, Y, Z)

p : İmge noktası koordinatları (x, y)

ifade etmektedir.

Dünya koordinatlarından imge koordinatlarına dönüşüm kolinearite eşitliği ile tanımlanır.

$$x = x_0 - c \frac{r_{11}(X-X_0) + r_{21}(Y-Y_0) - r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) - r_{33}(Z-Z_0)} \quad (1.1)$$

$$y = y_o - c \frac{r_{12} (X-X_0) + r_{22} (Y-Y_0) - r_{32} (Z-Z_0)}{r_{13} (X-X_0) + r_{23} (Y-Y_0) - r_{33} (Z-Z_0)} \quad (1.2)$$

Burada ortaya çıkan r_{ik} parametreleri uzaysal dönme matrisi R'nin elemanlarıdır. Bu 3 dönüklük α , ν , κ açılarından türetilmiş katsayılar olarak bilinmektedir [9].

Fotogrametri ve bilgisayarlı görme alanlarında kamera kalibrasyonu büyük bir önem teşkil etmektedir. Bu alanlarda, kamera kalibrasyonu ile ilgili çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Kamera kalibrasyonunun bu alanlardaki başlıca çalışmaları Brown (1971); Faig (1975); Tsai (1986); Weng, Cohen ve Hanson (1992); Faugeras (1993); Kumar ve Hanson (1994); Fraser (1997); Heikkila ve Silven (1997); Fitzgibbon ve Zisserman (1998); Pollefeys (2000); Zhang (2000); Remondino ve Fraser (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir [11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22].

Fotogrametri ve bilgisayarlı görme gibi disiplinlerde kamera kalibrasyonu üzerinde araştırma ve incelemeler yapılması farklı kalibrasyon yöntemlerinin önerilmesine katkıda bulunmuştur [23]. Kamera kalibrasyonu alanında yapılan çalışmaların sonucu olarak kalibrasyon yöntemleri farklı türlerde sınıflandırılmıştır. Kamera kalibrasyonu lineer [24-28], lineer olmayan [29-31] yöntemler ve iki aşamalı çözümler [17,20,32,33] olarak sınıflandırılabilir.

1.1.1. Lineer Yöntemler

Lineer kamera kalibrasyon yöntemleri kolay hesaplanabilir olmasına karşın mercekten kaynaklanan distorsiyonları değerlendirmedeğinden dolayı bu yöntemlerle istenilen doğruluk elde edilememektedir [31]. Bu yöntemlerde genel olarak, lineer eşitliklerin çözümlenmesiyle istenilen parametreleri tanımlayan ara değerler elde edilir. Elde edilen ara değerler aracılığıyla kamera parametrelerinin hesaplanması aşamasına geçilir. Lineer kalibrasyon yöntemleri mercekten kaynaklanan distorsiyonları göz önüne almadığından kamera modeli oldukça basittir [30,34]. Ayrıca lineer kalibrasyon yöntemlerinde sistem bilinmeyenleri en küçük kareler yöntemi ile kolaylıkla hesaplanabilmektedir [36]. Bilinen bir lineer kalibrasyon yöntemi olan, Direkt Lineer Dönüşüm (DLT) yöntemi Abdel-Aziz ve Karara tarafından, 1970'lerin başlarında önerilmiştir. Bu yöntemde 2B görüntü düzlemi ile 3B cisim koordinatları arasında lineer bir ilişki kurulmuştur. Bu yöntem ile her iki koordinat sisteminde koordinat değerleri

bilinen minimum 6 nokta mevcut ise, ara değer olarak on bir adet parametre hesaplanır. Bu ara değerlerden gerçek kamera parametrelerine geçiş sağlanabilir. DLT yönteminde hem iç hem de dış parametreler elde edilebilmektedir [35].

1.1.2. Lineer Olmayan Yöntemler

Lineer olmayan kamera kalibrasyon yöntemleri mercek kaynaklı radyal ve/veya teğetsel distorsiyonları sisteme dahil etmektedir. Bu sistemler elde edilecek sonuç açısından lineer yöntemlere göre daha kararlıdır [36]. Lineer sistemlere göre çözümü daha karmaşık ve zor olmasına rağmen sistemin çözümü için iteratif algoritmalar kullanılmaktadır. İyi bir başlangıç değerinin tahmin edilmesi lineer olmayan iterasyonu başlatmak için önemlidir. Kamera modelinin birçok distorsiyon türünü içermesi, istenilen doğrulukta karmaşık kamera modellerine basit olarak uyarlanabilmesi ve iyi bir başlangıç değerinin tahminiyle iterasyon sayısına bağlı olarak istenilen doğruluğun artırılması lineer olmayan yöntemlerin avantajları olarak gösterilebilir [29,30,31].

1.1.3. İki Aşamalı çözümler

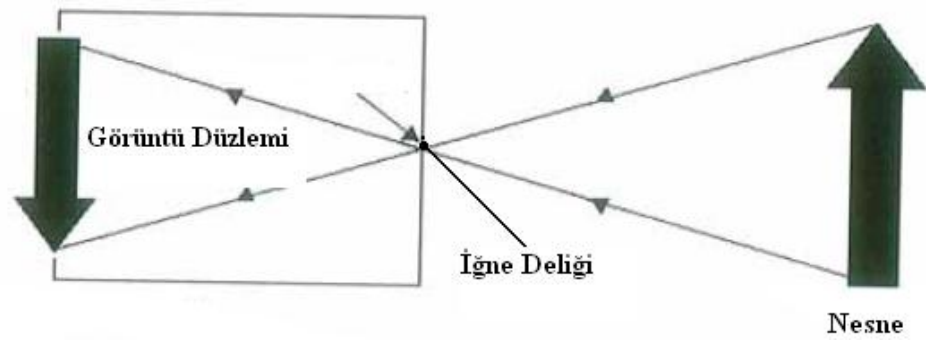
İki aşamalı yöntemler olarak da bilinen lineer ve lineer olmayan kamera kalibrasyonu yöntemlerinin bir arada kullanıldığı yöntemlerde mevcuttur. Bazı yöntemlerde iki aşamalı çözüm önerilmiştir. İki aşamalı çözüm yöntemleri alanında Lenz ve Tsai (1988), Weng (1992), Wei ve De Ma. (1994), Heikkila ve Silven (1997) referansları incelenebilir [17,20,32,33]. İlk aşamada sistemde bazı parametrelerin yaklaşık değerleri lineer yöntemlerle hesaplanmakta, ikinci aşamada ilk adımda elde edilen çözümler referans noktası kabul edilerek sistemin çözümüne devam edilmektedir [36]. İterasyon sayısını önemli ölçüde azaltarak kalibrasyonun hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlaması ve iterasyon için hesaplanacak başlangıç değerinin, ilk aşamada hesaplanan lineer tahminle oldukça yakınsanmış olması sistemin avantajları olarak gösterilebilir [30,31].

1.2. Tsai Kamera Modeli ve Kamera Parametreleri

Pinhole kamera modeli, perspektif izdüşümü tanımlamada kullanılabilecek en basit modellerden biridir. Bu modelde ışık kameraya sonsuz küçüklükte bir delikten girer.

Şekil 1.2' de gösterildiği gibi nesnenin ters bir görüntüsü elde edilir. Basit olması ve insan gözünü modellemedeki başarısından dolayı bilgisayarlı görmede ve fotogrametride yaygın olarak kullanılmaktadır [37].

Pinhole kamera modeli, kolinearite ilkesini temel alır, yani nesne uzayında her nokta projeksiyon merkezinden düz bir çizgi aracılığıyla görüntü düzlemine projekte edilir [17].



Şekil 1.2. Pinhole model

Tsai kamera modelinin temelini, pinhole perspektif projeksiyon modeli oluşturmaktadır ve aşağıdaki 11 parametre hesaplanmaktadır.

f : Kamera odak uzaklığı (f_x, f_y),

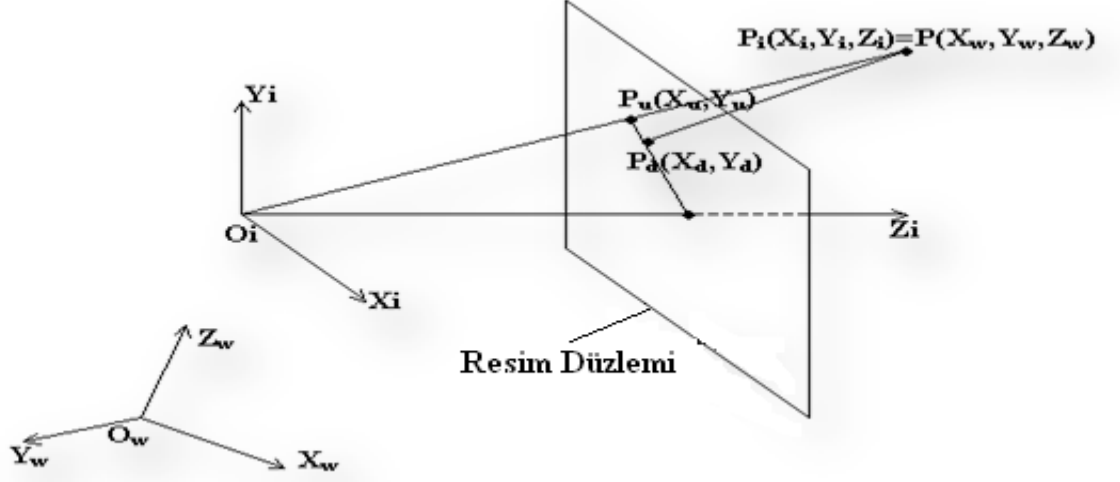
k : Radyal lens distorsiyon katsayısı,

C_x, C_y : Radyal lens distorsiyon merkezi koordinatları (Principal Point),

S_x : Ölçek Faktörü,

R_x, R_y, R_z : Kamera ve dünya koordinatları arasındaki dönüşüm için dönme açıları,

T_x, T_y, T_z : Kamera ve dünya koordinatları arasındaki dönüşüm için öteleme elemanları.



Şekil 1.3. Perspektif projeksiyonlu ve radyal distorsiyonlu Tsai kamera modeli

Eşitlik içerisindeki, (X_w, Y_w, Z_w) dünya koordinatlarından (X_i, Y_i, Z_i) imge koordinatlarına dönüşüm kamera dış yöneltme parametrelerini (Öteleme T, Dönüklük R) göz önünde bulundurur.

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T \quad (1.3)$$

Burada R ve T dünya koordinat sisteminden kamera koordinat sistemine dönüşümü belirtir.

R ve T aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$R = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

$$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

ile

$$r_1 = \cos(R_y) \cos(R_z) \quad (1.6)$$

$$r_2 = \cos(R_z) \sin(R_x) \sin(R_y) - \cos(R_x) \sin(R_z) \quad (1.7)$$

$$r_3 = \sin(R_x) \sin(R_z) + \cos(R_x) \cos(R_z) \sin(R_y) \quad (1.8)$$

$$r_4 = \cos(R_y) \sin(R_z) \quad (1.9)$$

$$r_5 = \sin(R_x) \sin(R_y) \sin(R_z) + \cos(R_x) \cos(R_z) \quad (1.10)$$

$$r_6 = \cos(R_x) \sin(R_y) \sin(R_z) - \cos(R_z) \sin(R_x) \quad (1.11)$$

$$r_7 = -\sin(R_y) \quad (1.12)$$

$$r_8 = \cos(R_y) \sin(R_x) \quad (1.13)$$

$$r_9 = \cos(R_x) \cos(R_y) \quad (1.14)$$

(R_x, R_y, R_z) : Üç eksen etrafındaki dönüklüğün Euler açıları

(T_x, T_y, T_z) : Dünya koordinatlarından imge koordinatlarına 3B öteleme elemanları

Dünya koordinatlarından (X_i, Y_i) , distorsiyonsuz imge düzlemi koordinatlarına (X_u, Y_u) dönüşüm

$$X_u = f \frac{X_i}{Z_i} \quad (1.15)$$

$$Y_u = f \frac{Y_i}{Z_i} \quad (1.16)$$

Distorsiyonsuz resim koordinatlarından (X_u, Y_u) distorsiyonlu resim koordinatlarına (X_d, Y_d) dönüşüm aşağıda ifade edilmiştir.

$$X_u = X_d (1 + kr^2) \quad (1.17)$$

$$Y_u = Y_d (1 + kr^2) \quad (1.18)$$

$$r = \sqrt{x_d^2 + y_d^2} \quad (1.19)$$

ve k , lens distorsiyon katsayısıdır.

İmge düzlemindeki distorsiyonlu koordinatlardan (X_d, Y_d) , sonuç imge koordinatlarına (X_f, Y_f) dönüşüm aşağıda ifade edilmiştir.

$$X_f = \frac{s_x X_d}{d_x} + C_x \quad (1.20)$$

$$Y_f = \frac{Y_d}{d_y} + C_y \quad (1.21)$$

Burada;

C_x, C_y : Radyal lens distorsiyon merkezi koordinatlarıdır.

(d_x, d_y) : x ve y yönündeki komşu sensör elemanları arasındaki mesafedir.

d_x ve d_y kamera parametreleri olarak belirlenmiştir. Onlar CCD (Charge-coupled device) boyutuna ve imge çözünürlüğüne bağlıdır. (X_f, Y_f) , imgedeki sonuç piksel konumudur [38].

2. BÖLÜM

GÖRSEL MODELLEME YÖNTEMLERİ VE HAREKET YAKALAMA

2.1. Görsel Modelleme Yöntemleri

Farklı disiplinlerde üç boyutlu dijital modellere duyulan ihtiyaç, gelişen teknolojiye bağlı olarak artmaktadır. Fotogrametri ve bilgisayarda görme alanlarının önemli bir araştırma konusu olan 3B modeller, nesnelerin 2B imgelerine göre daha anlamlı ve detaylı olması nedeniyle tercih edilmektedir. 3B model elde etmek için geliştirilmiş çok sayıda yöntem bulunmaktadır.

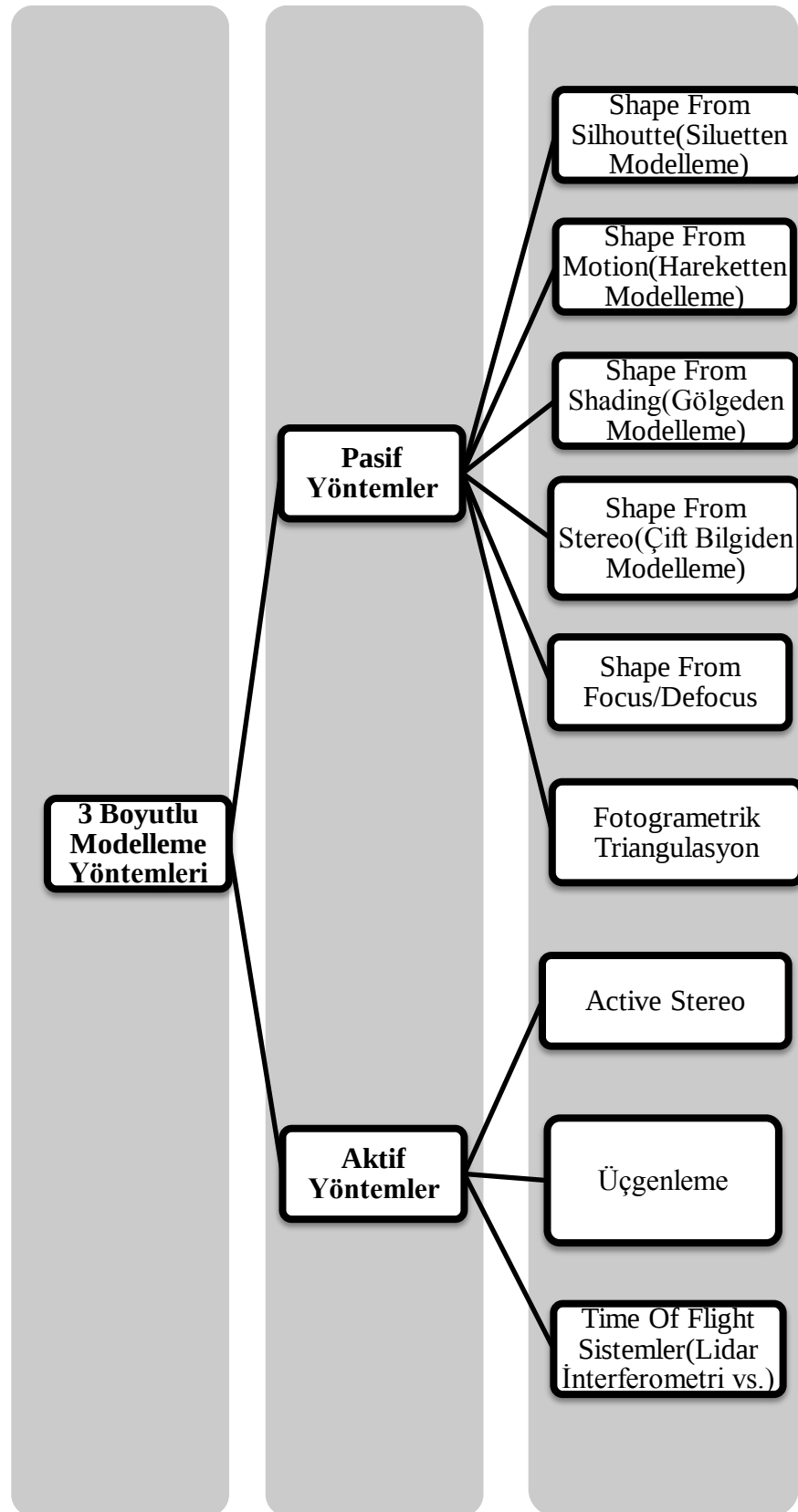
3B nesne geriçatımı, renk bilgisi ve 3 boyut geometrisinin üretilmesini kapsar [1]. 3B nesne geriçatım yöntemleri aktif ve pasif yöntemler olmak üzere Şekil 2.1'deki gibi 2 kategoriye ayrılabilir [2]. Aktif yöntemler genel olarak güvenilir derinlik bilgisini elde etmek için özel aygıtlar kullanırlar. Dizi tarayıcılar, yapısal ışık paterni, derinlik kamerası yaygın olarak kullanılır. Ancak bu sistemler veri elde etmede özel yeteneklere ve pahalı donanımlara gereksinim duyarlar. Aktif yöntemlerin aksine pasif yöntemlerde genel olarak farklı görüş açılarındaki dijital RGB kameralar kullanılır. Böylece 2 boyutlu renkli imgelerden 3 boyut bilgisi çıkartılır [3].

Nesnelere ait 3B model üretiminde kullanılan yöntemler, genel olarak aktif ve pasif modelleme yöntemleri olmak üzere sınıflandırılırlar. Aktif yöntemler, nesne üzerine yansıtılan tarayıcı işaretlerden üç boyut bilgisinin çıkartılması esasına dayanmaktadır. Nesne üzerine yansıtılan işaretler, yapısallaştırılmış ışın demeti, izdüşüren bir projektör, çizgi lazer veya ışık kaynağı olabilir. Aktif yöntemler, 3 boyut bilgisini elde etmek için lazer ya da kodlanmış ışık gibi kontrollü bir ışık kaynağı kullanırlar [39, 40, 41].

Pasif tarama yöntemlerinde amaç ise bilgisayarlı görmenin (computer vision) temel problemi olan 2B imgelerden görüntünün üç boyutlu yapısı ile ilgili bilgi çıkarmaktır. Pasif modelleme yöntemlerinde, nesnelerin fotoğrafları kullanılmakta ve genellikle özel donanımlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Gölgeden (shape from shadow), çift bilgidен (shape from stereo), hareketten (shape from motion), silüetten (shape from silhouette), hacimsel birimlerin renklendirilmesi (voxel coloring), uzay oyma (space carving), gölge ile erim tarama (shadow scanning) pasif tarama yöntemleri olarak sıralanabilir.

Gölge ile erim tarama yönteminde, gölgenin cisim üzerindeki kırılmasına bakılarak, kırılmanın gerçekleştiği yerlerdeki derinlik bilgisi hesaplanır. Voxel coloring algoritmasında nesneyi kapsayacak şekilde bir başlangıç küpü hesaplanır. Elde edilen küp belli çözünürlükte küplere ayrılır. Nesnenin modeli her bir küpün renginin çıkartılmasıyla üretilir. Bir renk ataması yapılamayan küplerin, nesnenin üzerinde olmadığı varsayılır. Hacimsel birimlerin renklendirilmesi yöntemi sadece iki renk kullanılarak yapılırsa bu yöntem uzay oyma (space carving) olarak adlandırılır. Hacimsel birimin modelde olup olmayacağını göstermek için bu iki renk kullanılır [4]. Silüet bilgisini kullanan 3DSom, Scanbook Scanbull Scanner gibi ticari bazı yazılımlar mevcuttur.

Çalışma kapsamında pasif tarama yöntemlerinden olan silüet tabanlı (shape from silhouette) tarayıcılar kullanılmıştır. Fiziksel nesnelere ait 3B modellerin üretilmesine, 3B yüzey tanıma, ters-mühendislik, endüstriyel ürün tasarımı, sanal müze tasarımları, katı modelleme, endüstriyel haritacılık, sanal gerçekçilik gibi birçok alanda ihtiyaç duyulabilmektedir [10]. Tarihi ve kültürel mirasın üç boyutlu olarak belgelendirilmesi ve korunması, tarihi ve kültürel mirasın zarar görme ihtimaline karşı gelecekte yapılacak çalışmalara referans oluşturabileceği gibi, sanal gerçeklik uygulamalarına ve sanal müzeler oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle küçük ve orta ölçekteki eserlerin (kâse, çanak, çömlek, para, şişe, heykel vb.) modellenmesinde silüet tabanlı model tarayıcılar kullanılabilmektedir. Ayrıca, bu alandaki donanımların yüksek maliyetleri sebebiyle, araştırmacılar pratik, ucuz, hızlı ve yüksek doğruluk sağlayan 3B nesne geriçatım algoritmaları araştırmaya ve geliştirmeye yönelmişlerdir. Yoğun çalışmalar sürdürülen 3B nesne geriçatım yöntemleri arasında silüet imgelerinden 3B nesne geriçatım algoritmaları gelmektedir [10].



Şekil 2.1. Üç boyutlu modelleme yöntemleri

2.1.1. Pasif Modelleme Yöntemleri

2.1.1.1. Gölgeden Şekillendirme (Shape From Shading)

Gölgeden şekillendirme yöntemi, ilk olarak 1970'lerin başında yılında Horn tarafından ortaya atılmıştır [42]. Tek resimden nesnelerin şekillerini elde etmek mümkündür. Nesne yüzeyin farklı bölümleri farklı odaklı yönlendirilirse, bu bölümler farklı parlaklıklarda ortaya çıkabilir. Parlaklığın mekânsal dağılımı, yani gölgelendirme, yüzey parçalarının bu yönelimini hesaplamak için kullanır. Gölgeden şekillendirme yöntemleri nesnelerin 3B modellerini elde etmek için resimlerin gölge ve parlaklıklarındaki değişimleri kullanır [43]. Bu yöntem, ışık kaynakları, kameralarının bilinen konumları ve resim parlaklıklarından 3B bilgisini çıkarır. Ayrıca bu yöntem, geliş açısı (angles of incidence) ve çıkış açısının (emergence) bir fonksiyonu gibi nesnelerin yansıtımlarını modeller. Farklı aydınlatmalı çoklu imgeleri ve hareketli ışık kaynaklı imge dizilerini kullanan farklı gölgeden şekillendirme yöntemleri mevcuttur. Bu yöntem ışıklandırmanın kontrol altına alınabildiği ortamlarda ve pürüzsüz parlaklık değişimlerini içeren imgelerde uygulama alanı bulmaktadır. Başka bir ifadeyle, çöl ve orman gibi alanlarda geleneksel stereo uygulama yöntemleri uygulanamazsa gölgeden şekillendirme yöntemleri sayısal yükseklik modellerini üretmede de kullanılabilir [9].

2.1.1.2. Hareketten Şekillendirme (Shape From Motion)

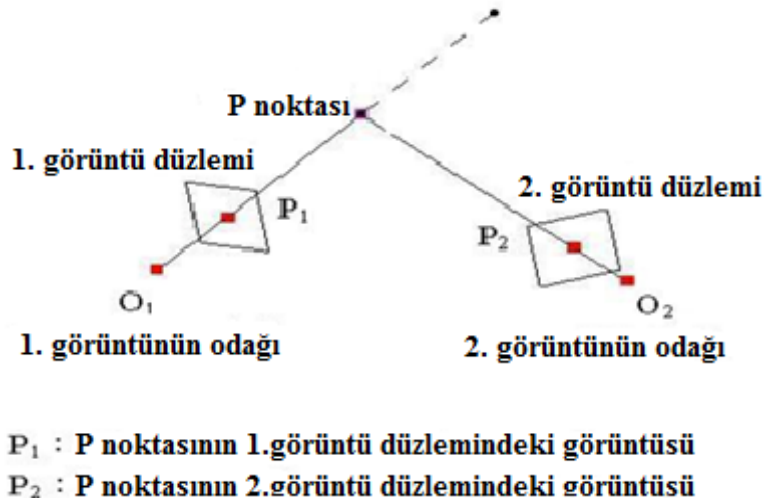
3 boyutlu model üretim yöntemlerinden biri olan hareketten şekillendirme yöntemi imge özelliklerinden 3 boyut yapı parametrelerini ve zamanla değişen hareket parametrelerini üreten bir yöntemdir.

Bir imge dizisinde meydana gelen konumsal ve zamansal değişimlerden sahnenin geri çatımı gerçekleştirilebilir. Hareketten şekillendirme yöntemi kamera ve sahne arasındaki ilgili hareket verilerini kullanır. Stereo tekniğine benzer olarak bu işlem alt süreçlere ayrılabilir. Bunlar, sahnenin geriçatımı ve birbirini izleyen karelerden benzer olanları bulmaktır. Buna karşın bazı farklılıklarda mevcuttur. Birbirini izleyen kareler arasındaki farklılıklar ortalama olarak stereo çiftlerinden daha küçüktür. Çünkü imge dizileri yüksek oranlarda örneklendirilebilir. Stereo'nun aksine harekette, kamera görüşü ve sahne arasındaki 3B yer değiştirme ilişkisi sadece 3B dönüşümden kaynaklanmaktadır [42].

Çok sayıda hareketten şekillendirme algoritması geliştirilmiştir [44,45,46]. Genel olarak videodaki sahne yakalanır, bundan dolayı uyumsuzluk azdır. Video dizilerinde noktalar otomatik olarak izlenebilir ve eşleştirmeler doğrulanabilir. Hem nokta hem de çizgiler geriçatım için kullanılabilir. Yapının ve hareketinin kalitesi uygun olmasına rağmen, metrik doğruluk zayıftır ve bu yöntem iyi özellik izlenmesine ihtiyaç duyar [9].

2.1.1.3. Stereo Yöntemler (Shape From Stereo)

Stereo sistemler, belirli bir baz mesafesiyle iki kamerayla görüntülenmiş nesnelerin, 3 boyutlu modelinin elde edilmesini sağlar. Sistem insan gözünün 3 boyutlu görme yetisinin taklit edilmesiyle geliştirilmiştir. Çift görüşlü sistemlerde üçüncü boyutun algılanmasına geometrik ve fiziksel özellikler olarak sağlamaktadır. Yakın cisimlerin uzaktakilere göre daha büyük görünmesi (geometrik perspektif), arkadaki nesnelerin öndekiler tarafından kapatılması, yakındaki nesnelerin parlak uzaktaki nesnelerin soluk görünmesi, görüşler arasında yatay paralaks bulunması gibi özellikler derinlik algısına imkân sağlamaktadır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi eğer kalibre edilmiş kamera çifti ve P noktasının en az iki görüntüde yeri belirlenebiliyorsa, noktanın 3. boyutu elde edilebilir.



Şekil 2.2. Stereo görüş

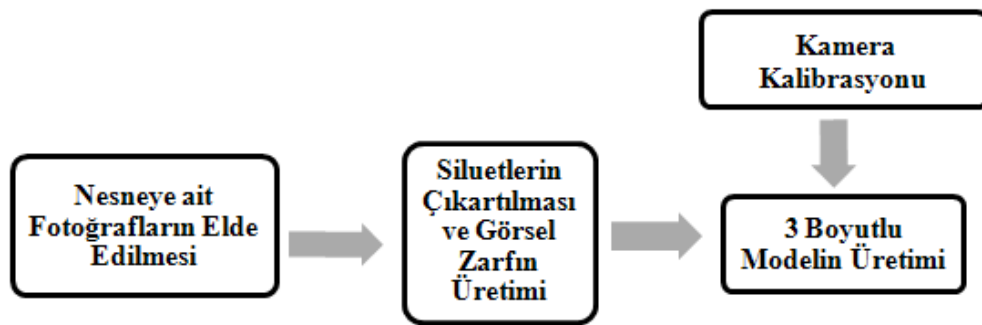
2.1.1.4. Shape From Silhouette (SFS)

Siluet tabanlı tarayıcılar, nesnelerin siluet imgelerini kullanarak, bir nesnenin 3B modelinin üretimini sağlayan, pasif tarama yöntemlerindendir. Pasif tarama yöntemlerinde, modellenecek nesneler ile ilgili bilgi çekilen fotoğraflardan çıkarılmaya çalışılır. Bu yöntemde, modellenecek nesneye ait fotoğrafların elde edilmesi ve kamera kalibrasyonu, model geometrisinin çıkarılması ya da siluet çıkartımı ve modelin yüzey görüntüsünün çıkarılması gibi işlemler gerçekleştirilmektedir. Farklı görüntülerden nesnenin fotoğraflarının elde edilmesinden sonraki aşama siluet çıkartılmasıdır. Siluet, mevcut imgeler içerisinde, nesnenin dış yüzeyleridir. Siluetler daha sonra gerçek bir nesneyi tanımlayan 3 boyutlu modeli üretmede kullanılmaktadır. Tüm siluet konilerinin kesişimi ya da SFS algoritmalarının sonucu görsel zarf (visual hull) olarak adlandırılan bir hacim tanımlar [10].

Siluet imgelerinden 3B model üretme düşüncesi ilk defa Baumgart tarafından ortaya atılmıştır [8]. Baumgart dört siluet imgesinden bir oyuncak at ve bir oyuncak bebeğin 3B modelini üretmiştir [47,48]. Siluet imgeleri kullanılarak gerçekleştirilen ve hacimsel tanımlamalar sağlayan 3B nesne geriçatım yöntemlerinden bahsedilmiştir [49,50]. Potmesil, Noborio, Ahuja SFS'yi hızlandırmak için Octree veri yapısı kullanmışlardır [48,51,52,53]. Shanmukh ve Pujari siluet imgelerini elde etmek için optimal fikirler elde etmişlerdir [48,54].

Genel olarak siluetlerle gerçek dünyada gölgeler şeklinde karşılaşılır. 3B fiziksel nesnenin bir perde üzerine izdüşürülen gölge siluet imgeleri kullanılarak nesnenin 3B geriçatım için geliştirilen bir algoritma verilmiştir [55]. Olsson siluet imgelerini elde etmek için ilk defa dönen bir platform kullanma fikrini önermiştir [56]. 3B nesne geriçatım yöntemleri siluet imgelerini kullanarak hacimsel görselleştirme tekniklerinden yararlanırlar. Tüm siluet konilerinin kesişimi ya da SFS algoritmalarının sonucu görsel zarf (visual hull) olarak bilinen bir hacim tanımlar [10]. Geleneksel olarak SFS, durağan objelerde ve hareketli objelerde uygulanabilir. 3B nesne geriçatımı için hareketli nesnelere ait siluet imgeleri kullanarak gerçekleştirilen bir araştırma gerçekleştirilmiştir [57]. Kamera kalibrasyon tekniklerinden uygun olan bir yöntem yardımıyla karşılıklı yöneltmeleri gerçekleştirilen siluet imgeleri kullanılarak tanımlanan siluet konilerinin kesişimi olan görsel zarfı üretmek siluet tabanlı 3B nesne geriçatım yöntemlerinin

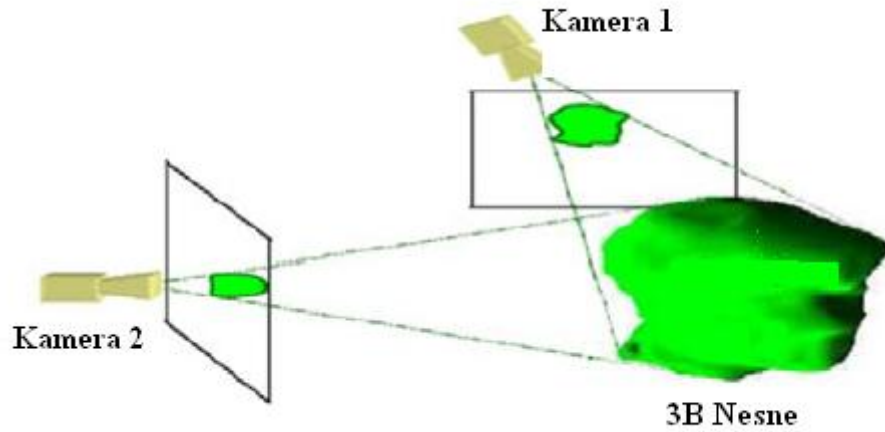
temelini oluşturmaktadır. Bu uygulama hacim kesiştirme olarak adlandırılır. 3B siluet koni hacimlerinin kesiştirilmesi problemini 2B kesişimlere dönüştüren çoklu imgeler ve bu imgelerin karşılıklı yöneltme parametreleri kullanılarak tanımlanan bir yöntem verilmiştir [58]. SFS yöntemi nesnenin güvenilir 3 boyutlu modelinin üretilmesi için ön plan nesnesinin hassas ya da doğru siluet bilgisine ihtiyaç duyar. Hwang ve Kweon grafik tabanlı optimizasyon ve bir istatistiksel model kullanan bir siluet çıkartım yöntemi önermişlerdir [59]. Son zamanlarda görsel zarfı hızlı bir şekilde üretmek için gerçek zamanlı çok sayıda yöntem önerilmiştir. Ladikos gerçek zamanlı performans elde etmek için GPU tabanlı bir geriçatım yöntemi kullanan bir yöntem önermiştir [60]. Bazı yöntemler 3B nesne geriçatımının yüksek doğruluğu için SFS yöntemleri ile diğer yöntemlerin kombinasyonlarını içermektedir. Nesnelerin iç bükely yüzeylerinin ya da konkavlıklarının (bir kâsenin iç yüzeyi gibi) modellenmesinde bu yöntem yeterli sonuçları verememektedir. Bu sebeple SFS yöntemiyle yapısal ışıktan şekillendirme yönteminin kombinasyonunu içeren bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde nesnelerin iç bükely yüzeyleri yani konkavlıkları tamamlanmıştır [61]. Esteban ve Scgnutt SFS yöntemini başlangıç olarak kullanmış bu yöntemle oyma derinliğinin kestirimini kullanan bir çoklu stereo oyma (multi-stereo carving) yöntemini birleştirmişlerdir [62]. Siluet Tabanlı Tarayıcıların uygulama aşamaları Şekil 2.3'deki gibidir.



Şekil 2.3. Siluet tabanlı yöntemlerin uygulama aşamaları

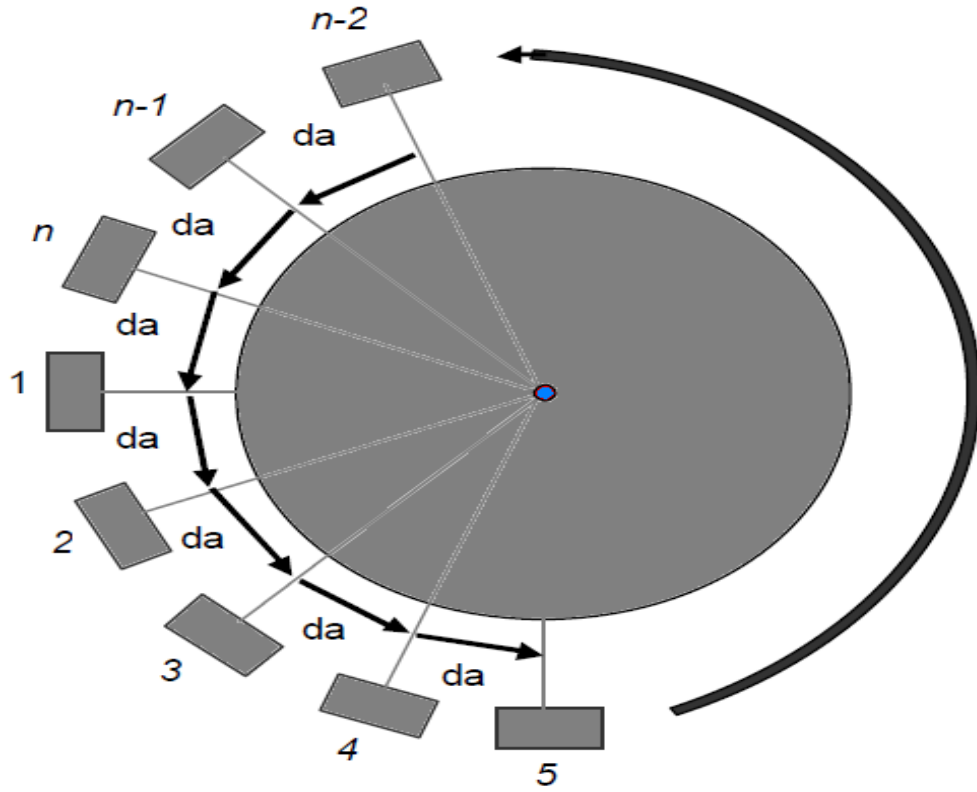
SFS yöntemi giriş imgelerinden görsel zarfın yaratılmasıyla nesnenin 3 boyutlu modelinin üretilmesini sağlar. Görsel zarf nesne şeklinin 3 boyutlu kestirimidir. Görsel zarfı elde etmek için, nesnenin elde edilen resimlerinden siluet bilgisi çıkartılabilir. 3 boyutlu nesnenin şeklinin kestirimi çoklu imgelerden yaratılan siluet konilerinin kesişiminden elde edilebilir. Görsel zarf iyi bir kestirim olmasına rağmen, nesneyi tam

olarak kuşatamamakta ya da kapsayamamaktadır. Bu eksikliğe karşın, çok sayıda araştırmacı tarafından basit donanımlar içermesi, maliyetinin düşük olması açısından nesnelerinin 3 boyutlu modellerini üretmekte kullanılmaktadır. Görsel zarfın üretilmesinde hacim kesiştirme işlemi Şekil 2.4’de gösterilmiştir [9].



Şekil 2.4. Görsel zarf için hacim kesiştirme [60]

Siluet tabanlı tarayıcılarda, nesneye ait fotoğrafların elde edilmesi ve kamera kalibrasyonu aşamasında, nesne fotoğrafları farklı görüş açılarından çekilir. Dönen patern ve sabit bir kamera ile oluşturulmuş düzeneğin kullanılması için bazı özel nedenler vardır. Temel neden kameranın hareket etmesine bağlı olarak kamera kalibrasyonundan elde edilen, nesnenin 3B modelinin üretilmesi için gerekli olan kamera parametreleri değişmesi olarak ifade edilebilir. Bu nedenle kalibrasyon parametreleri özel kamera düzeneği için kendine özgü değerlere sahiptir. Diğer bir neden ise, kameranın hareket ettirilmesi yerine nesne üzerindeki çemberin tıpkı bir döner levha gibi döndürülmesidir. Nesnenin farklı fotoğrafları arasındaki dönüş açısı imgelerin sayısına göre farklılık gösterecektir. Bir dönüş (360 derece) istenilen fotoğraf sayısına bağlı olarak eşit büyüklükteki açılara bölünebilir. Nesne imgelerinin sayısı, üretilecek sonuç modelin istenilen doğrulukta elde edilmesi açısından da büyük bir önem teşkil etmektedir.



Şekil 2.5. Nesnenin fotoğraflarının elde edilmesindeki dönüklükler

Şekil 2.5'te gösterilen n indisi, nesnenin fotoğraflarının sayısıdır. Farklı kamera konumları gibi düşünülebilir. da ($360 \text{ derece} / n$) indisi, döner masanın dönüş açısını ifade etmektedir. Çeşitli açılardan 3 boyutlu modeli üretilecek nesnenin resimleri farklı görüş açılarından çekildikten sonra kamera kalibrasyonu ve resimlerden elde edilmiş siluet bilgileri kullanılarak görsel zarfın üretilmesine aşamasına geçilir.

Siluet tabanlı (shape from silhouette) tarayıcılarda, kamera kalibrasyonu ile elde edilen izdüşüm merkezlerinden siluet kenarlarına doğru tanımlanan doğruların sınırlandırdığı siluet konilerinin kesiştirilmesi ile 3B modele ulaşılması açısından kalibrasyon aşaması önemlidir [10]. Kamera parametrelerinin bulunması, bir cismin tanımlanmasından önceki ilk aşamadır. Nesnelere ait 3 boyutlu modellerin oluşturulabilmesi için; 2 boyutlu (u,v) resim düzlemi ile 3 boyutlu (X,Y,Z) dünya koordinat sistemi arasındaki dönüşümü tanımlayan kamera kalibrasyonu yapılmalıdır. Kamera kalibrasyon işleminde 2 boyutlu resim düzlemi ile 3 boyutlu dünya koordinat sistemi arasındaki ilişki modellenerek kameralara ait parametreler hesaplanır [8].

Siluet tabanlı (shape from silhouette) tarayıcılarda, kalibrasyon sonucunda görüntülenen 3B sahnenin 2B imge yüzeyine dönüşümünü tanımlayan kamera parametreleri elde edilir. Değerlendirilen bu dönüşüm iki temel parametre grubundan meydana gelmektedir. Kamera iç yöneltme elemanları ilk grup parametreler olarak adlandırılırken kamera dış yöneltme elemanları $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \chi)$ ikinci grup parametreler olarak tanımlanır [10]. Kamera izdüşüm noktasına ait dış yöneltme elemanları tanımlandıktan sonra siluet konilerinin elde edilmesi için kamera projektif dönüşüm matrisi M hesaplanmaktadır [10,63].

Siluet konilerinin yapısının nasıl olduğu aşağıda gösterilmiştir. Buna göre,

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1' \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -f \frac{x'}{z'} \\ -f \frac{y'}{z'} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Burada 3B imge öğelerinin referans koordinatları (x,y,z) , 3B imge öğelerinin kamera sistemi karşılıkları ise (x',y',z') 'dir. (u,v) imge koordinatlarıdır. (u_0,v_0) imge ana noktasına ait koordinatlardır. (f) odak uzaklığıdır. M matrisi

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & x_0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & y_0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

ile tanımlanmaktadır. $(a_{ii} \ i=1,2,3)$ elemanları kamera projektif dönüşüm matrisi elemanlarıdır ve (ω, ϕ, χ) 'ya bağlı olarak hesaplanırlar [64,65].

Çoklu kameralardan hacimsel 3B nesne geriçatımı, bilgisayarlı görme ve fotogrametride önemli bir araştırma alanıdır. Görsel zarf üretimi, voxel coloring, space carving, olasılıklı optimizasyon tabanlı yaklaşım gibi çok sayıda hacimsel 3B nesne geriçatım yöntemleri nesnelerin siluet bilgisini kullanırlar [66,67,68,69]. Siluet bilgisi arka plan çıkarma olarak elde edilebilir. Görsel zarfın doğruluğu nesnenin 3B modelinin kalitesi açısından çok önemlidir ve siluetlerin hassas bir biçimde ortaya çıkarılması nesnenin 3B modelinin üretilmesinde kritik bir rol oynar [70].

3B nesne geriçatımı için siluetlerin elde edilmesi gri tonlu resimlerdeki arka planın çıkartılmasına dayanır. İlgili piksellerdeki basit yoğunluk farklılıkları aracılığıyla nesnelerin siluetlerini ortaya çıkarılabilir. Arka planın çıkartılmasında, belirlenen uygun eşik değeri önemlidir. Yüksek eşik değeri anlamlı değişimleri ortadan kaldırırken, düşük eşik değeri de bu değişimleri dikkate almamaktadır. Gri tonlu resimlerdeki gürültüler ve sınırlı niceleme seviyelerinden dolayı 3B nesne geriçatımının gerçekleştirilmesi için doğru eşik değeri belirlenmesine rağmen çıkartılan siluetler uygun sonuçları gösteremeyebilir [70].

Siluetlerin çıkartılmasında bazı önemli kriterlere dikkat etmek gerekmektedir. 3B nesne geriçatımında boşluk, çukur ya da delikler meydana getirmesi açısından nesne bölgesindeki eksik ya da kaybolmuş siluet pikselleri önemli rol oynamaktadır. Voxel coloring ya da space carving gibi 3B nesne geriçatım yöntemlerini uygulanmasına rağmen, bu hatalar elimine edilememektedir. Bu sebeple, nesne bölgesindeki unutulmuş ya da kaybolmuş piksellerin sayıları minimize edilmelidir. Görsel zarf, siluet imgelerinin kesişiminden elde edilir. Bu sebeple siluetlerin sınırları nesnenin 3B modelinin doğruluğunu belirlemede etkisi büyüktür. Fakat resim uzayındaki doğru sınırların hassas olarak ölçülmesi zordur. İstenilen 3B modele ulaşmak için görsel zarfı oluşturacak siluetlerin çıkartılmasında siluet sınırlarının hassas olarak çıkartılması ve nesne bölgesindeki eksik piksellerin minimize edilmesi gerekmektedir [70]. Sonuç olarak siluetlerin kesiştirilmesi ile 3 boyutlu model elde edilir.

2.2. Hareket Yakalama

İnsan hareketlerinin analizi, biyomekanik, navigasyon, eğitim-simulasyon, sanal gerçeklik ve animasyon gibi uygulamalarda hareket yakalama teknolojisinin önemi gittikçe artmaktadır [5,6]. Hareket yakalama hareketin kaydedilerek sayısal bir modele dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Aktör veya aktörlerin hareketlerini saniyede pek çok kez örnekleyebilen bir hareket yakalama sisteminde kaydedilen bilgi aktörün dış görünüşü ile ilgili bir bilgi olmayıp sadece aktörün gerçekleştirdiği hareketlerdir [71,72].

1970'lerden itibaren biyomekanik alanındaki fotogrametrik analiz araçları ile başlayan hareket yakalama, eğitim, sinema, spor faaliyetlerinin analizi, bilgisayar animasyon ve oyun sektörü gibi teknolojik alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Akustik, inersiyal, LED, manyetik veya reflektif işaretleyicili veya bunların kombinasyonu şeklinde pek çok hareket yakalama sistemi geliştirilmiştir [71,72].

Hareket yakalama teknolojisini elektromekanik, elektromanyetik, elektrooptik ve inersiyal algılayıcı tabanlı sistemler olarak sınıflandırmak mümkündür. Özellikle işaret tabanlı ve tv kameraları tabanlı ticari elektrooptik sistemler insan hareketlerinin 3B kinematiklerinin kaydedilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [5,6]. Optik sistemler işaretlerin aktif veya pasif olmasına bağlı olarak aktif ve pasif sistemler olarak sınıflandırılabilir. Bu tür sistemler basit bilgisayarlı görme tekniklerini uygulayan özel donanımlar içerirler [6]. Optotrack, Costel gibi aktif sistemler vücut üzerine yerleştirilmiş ya da eklenmiş ışık yayan diyot (LED) kullanırlar [73,74]. Hareket halinde iken, bir kameranın işaretleri gördüğü anda onları anında algılayabilmesi, kurulumu ve öğrenilmesinin kolay olması, taşınabilir ve genişletilebilir olması ve canlı performans için ideal olması aktif sistemlerin avantajları olarak gösterilebilir. Vicon, Elite, Maxreflex gibi pasif kızılötesi sistemler yansıyan ışığın kaydedilmesiyle ve kızıl ötesi ışıklandırma ile kablosuz tersine yansıtıcı işaretlerin kombinasyonunun kullanılmasıyla çalışır [74,75,76]. Birçok kamera tarafından izlenen işaretleyicilerin kullanılması, kablo bağlantısı olmadan hareketlerin serbestçe gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayan optik sistemlerde veriler diğer sistemlere göre daha temiz ve detaylı olmasına karşın sistemin maliyeti çok yüksektir [77].

Harici kameralar olmaksızın hareket halinde insan vücut hareketlerinin yakalanmasını sağlayan sistemler mevcuttur. Bu sistemlerden elektromanyetik sistemlerde sabit duran vericiye göre konum izlenebilmesi için bir dizi manyetik alıcı giyilir. Bu sistemlerde pozisyonlar kesin olup uzaklık arttıkça manyetik bozulma gerçekleşir. Veriler optik sistemdeki kadar net değildir ve manyetik alandan bir müdahale söz konusudur. Sistemde bilgisayara bağlı kablolar olmasından dolayı hareketler kolay ve rahat gerçekleştirilemez [77]. Ayrıca inersiyal tabanlı sistemlerde hareket verilerinin yakalanmasında kullanılmaktadır.

2.2.1. İnersiyal Konumlandırma Tabanlı Hareket Yakalama Sistemi

2.2.1.1. Genel Bilgiler

Kablosuz bağlantı mesafesinde her yerde kullanılabilen Xsens Moven Hareket Yakalama Sistemi taşınabilir bir sistem olup stüdyo ya da laboratuvar gibi ortamlarda mekân sınırı olmaksızın çalışma imkânı sağlamaktadır. 3 Boyutlu animasyon, sanal gerçeklik, eğitim-simülasyon, biyomekanik gibi alanlarda kullanılabilmektedir [78]. Xsens Moven Hareket Yakalama Sisteminin toplam kurulum süresi yaklaşık 10 dakikadır. Deneyleri gerçekleştiren kişinin nesnelerle veya insanlarla temas etmesiyle ölçmelerde herhangi bir bozulma olmamaktadır. Ölçme esnasında hareketlerin sınırlanmaması sistemin avantajları olarak gösterilebilir. Bu sistem harici kameralara, yansıtıcılara ve işaretleyicilere ihtiyaç duymadığından optik hareket yakalama sistemlerinde yaygın olarak karşılaşılan optik işaretlerinin algılanamaması gibi sorunlarla karşılaşmamaktadır [78].

2.2.1.2. Gereç, Yöntem ve Donanım

Uygulamada elde edilen 3 boyutlu modelin canlandırılmasında kullanılacak insan vücuduna ait hareket verilerinin yakalanmasında Xsens Moven Hareket Yakalama Sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde, 16 ataletsel hareket sensörü bulunmakta olup her sensör 3 boyutta gyro, 3 boyutta ivme ve 3 boyutta magnetometre bilgisi sunmaktadır [78].

Moven sistemi aşağıdaki bileşenlere sahiptir:

- 1 adet esnek, likra (polyurethanefibre), kıyafet
- 11 adet kablolu dahili inersiyal hareket yakalayıcı
- 2 adet dahili inersiyal hareket yakalayıcı bulunan eldiven
- Dahili inersiyal hareket yakalayıcılı 1 adet başlık ve 1 adet kafa bandı
- 2 adet ayakkabı bantlı inersiyal hareket yakalayıcı
- 2 adet Xbus master cihazı
- 2 adet Moven kablosuz alıcı
- 8 adet AA tipi pil ve şarj cihazı
- 2 adet 12 volt güç adaptörü

- Moven Studio yazılımı
- Moven Yazılım geliştirme kiti
- Moven kullanıcı rehberi
- Moven hızlı kullanım kitapçığı [78].

Moven sistemi algılayıcılarından, MTx kompakt, minyatür bir inersiyel ölçme birimidir. MTx'in 3B manyetometreleri dünyanın manyetik alanını ölçmektedir. MTx'in 3B lineer ivme-ölçerleri tüm ivmelenmeleri ölçebilmektedir. MTx dahilinde bulunan 3B gyro'lar (jiroskoplar) ise açısal hızları yüksek doğrulukla ölçmektedir. Moven giysisinde çalışan iki tip sensör birimi vardır: MTx ve MTx-L. Her bir sensör modülü içsel olarak aynı olmasına rağmen farklı tipte konektörlere sahiptir. Şekil 2.6'daki Standart MTx'in aynı tarafta olan iki konektörü vardır [78].



Şekil 2.6. MTx algılayıcısı [78].

Şekil 2.7'deki MTx-L'de kasanın ve konektörlerin arasında kablo vardır. Bu birimler omuz, kol ve bacaklarda kullanılır.



Şekil 2.7. MTx-L algılayıcısı [78]

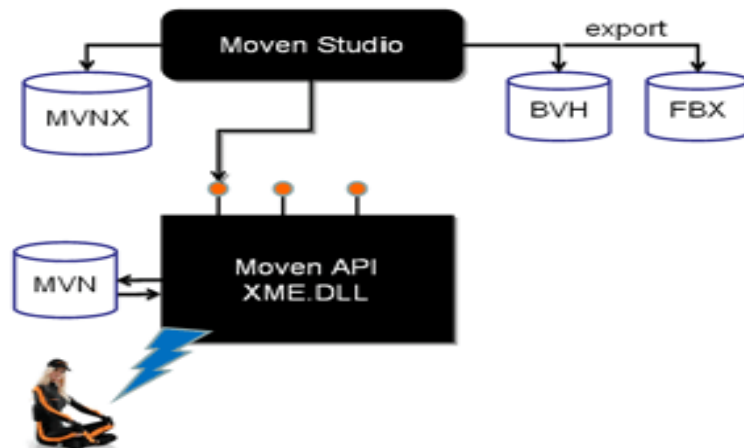
Moven sistemindeki Xbus Master cihazı, çoklu MTx hareket izleyicilerin Xbus kablusuyla birbirine bağlanmasını sağlar. Bağlı olan inersiyel hareket izleyicilerine güç iletir ve senkronize edilmiş örnekleri sensörlerden toplar. Toplanan veri kablosuz bir

bağlantı veya USB seri kablo ile PC veya dizüstü bilgisayara iletilir [78]. Moven sisteminde Xbus Master ile bilgisayar arasındaki veri trafiğini gerçekleştiren iki kablosuz alıcı (WR-A) mevcuttur ve Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Her bir kablosuz alıcı boş bir USB portuna bağlanmalıdır [78].



Şekil 2.8. Xbus Master ile bilgisayar arasındaki veri trafiği için kablosuz alıcı [78]

Moven sisteminden bilgi almaya başlamanın en kolay yolu Moven studionun kullanılmasıdır. Bu yazılım 3 boyutlu karakterin eş zamanlı görülebileceği, kaydedilebileceği, düzenlenebileceği ve farklı biçimlerde dosyalarda kaydedilebileceği Windows kullanıcı arabirimi sağlamaktadır. Aşağıda verilen Şekil 2.9’da verilen Moven Studio veri akış mekaniği (Network Streaming) şema üzerinde gösterilmiştir [78].



Şekil 2.9. Moven Studio-veri akış mekaniği [78]

Tüm hareket verileri Xsens Moven tarafından tanımlanan XML kökenli “.mvnx” formatında yakalanır. Moven, elde edilen ölçme değerlerini Hareket Yakalama alanında yaygın olarak kullanılan “.Bvh” ve “.Fbx” dosya formatlarına dönüştürebilmektedir. Şekil 2.10’da Xsens Moven sisteminin genel görünümü verilmiştir [78].



Şekil 2.10. Xsens Moven sisteminin genel görünümü [78]

2.2.1.3. Xsens Moven Sisteminin Çalışma Prensipleri ve Sistem Kalibrasyonu

MTx, üç boyutlu jiroskop (gyro), akselerometre ve manyetometrelerden oluşan bir inersiyel ölçüm algılayıcısıdır. Tüm algılayıcılar Xbus Master cihazlarına bağlı olup bu algılayıcılar senkronize çalışırlar ve ölçtükleri değerler kablosuz olarak bir bilgisayara aktarılmaktadır. Algılayıcılar ve kabloları likralı bir elbiseye entegre edilmiştir. Moven sisteminin toplam ağırlığı 1.9 kg’dır. Moven’i oluşturan algılayıcılar iskelet yapısını tanımlayan temel eklemleri taşıyan ayaklara, alt bacaklara, üst bacaklara, pelvise, omuzlara, kafaya, üst kollara, ön kollara ve ellere yerleştirilmiştir. Algılayıcıların vücuda yerleştirilmesinde hangi algılayıcının vücutta hangi bölgede olduğunu tanımlayacak bir kalibrasyon aşamasına ihtiyaç duyulur [72,79].

Moven hareket yakalama kıyafeti elastik kumaştan yapılmıştır. Kolaylıkla birçok farklı boyuta uyum sağlayabilir. Moven’de kullanılan hassas cihazların ve bağlantıların zarar

görmemesi için sistemi kullanırken çok dikkatli olmak gerekir. Sistemde kablosuz iletişim ile bağlantı kurulduğu için moven kıyafeti üzerine ayrıca farklı giysiler de giyilebilir [78].

Giysiyi giymeden önce XBus Master kablosuz vericileri çıkartılmaktadır. Eldivenler ve ayakkabı bantları ve kafa bandı kabloları da çıkartılmıştır. Giysi, ana fermuar ve bacaklardaki iki fermuar açılarak kolayca giyilebilmektedir. Kıyafetin alt kısmı kablolarla basmamaya dikkat ederek giyilmelidir. Daha sonrasında her iki kol sırasıyla giyilmelidir. Hareket yakalama sensörü ayakkabı üzerine giyilecek ise ilgili sensör Şekil 2.11’de gösterildiği gibi ayakkabının üstüne yerleştirilen plastik üzerine konulmalıdır [78].



Şekil 2.11. İnersiyal algılayıcıların yerleşimi [78]

Ayakkabısız kullanımda bant kullanılabilir. Daha sonra kablolar bağlanmalıdır. Bütün fermuarlar kapatılır. Başlık giyilir. Eldivenler giyilerek kabloları bağlanır. XBus Master vericiler ceplere yerleştirilerek kabloları bağlanır [78]. Doğru bir biçimde bütün vücut hareketlerini yakalamak için Moven sistemini kullanan kişinin vücut ölçüleri Moven Studio veri yakalama yazılımına girildikten sonra MTx sensörlerinin gövde parçaları ile uyumu sağlanmaktadır. Temel ayarlama süreci sadece birkaç saniye almaktadır. Temel ayarlama sürecinde kullanılan veriler kullanıcının boyu, ayak büyüklüğü ve T pozisyonu değerleridir [78]. Tablo 2.1’de algılayıcıların insan bedeni üzerindeki yerleşim yerleri listelenmiştir.

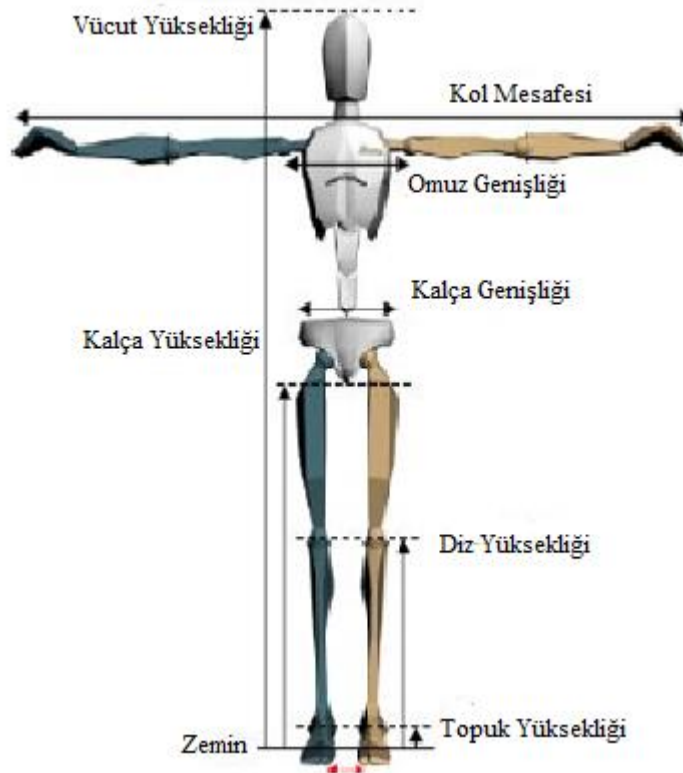
Tablo 2.1. Algılayıcıların (sensörlerin) yerleşim yerleri [78].

Sensör Yeri	Uygun Konumu
Ayak	Ayağın üstünde orta kısımda
Bacağın alt kısmı	İncik kemiği üzerinde düz biçimde
Bacağın üst kısmı	Dizin yan kısmı
Pelvis	Sagital düzlemde Z ekseninde kuyruk sokumu kemiği üzerinde düz
Omuz	Kürek kemiği üzerinde
Üst kol	Dirsek üzerinde yanda
Alt kol	Bilek üzerinde Yan ve düz kısmında
El	Elin arka kısmında
Baş	Uygun herhangi bir kısmında

Kıyafet giyildikten sonra öncelikle kalibrasyon yapılmaktadır. Moven kullanıcısı tarafından kalibrasyon aşamasının gerçekleştirilebilmesi için T pozisyonu olarak bilinen ve daha önceden belirlenmiş olan bir duruş pozisyonunun gerçekleştirilmesi gerekir. Xsens Moven sisteminin kalibrasyonu için kullanılan temel duruş, Şekil 2.12’de verilen T duruşudur. Ayarlama yaparken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Düz bir zeminde dik biçimde durulur.
- Araları açık biçimde ayaklar yan yana durmalıdır.
- Dizler ayak üzerinde düz olmalıdır.
- Kalça dizler üzerinde düz biçimde durmalıdır.
- Bel kemiği düz biçimde durmalıdır.
- Omuzlar kalça üzerinde düz biçimde durmalıdır.
- Kollar düz biçimde uzatılmış olarak yanlara açılmalıdır.
- Yüz ileri doğru durmalıdır.

- Sağ ve sol organların birbiri ile simetrik bir duruş sergilemesi gerekir [78].



Şekil 2.12. T pozisyonu duruşu [78]

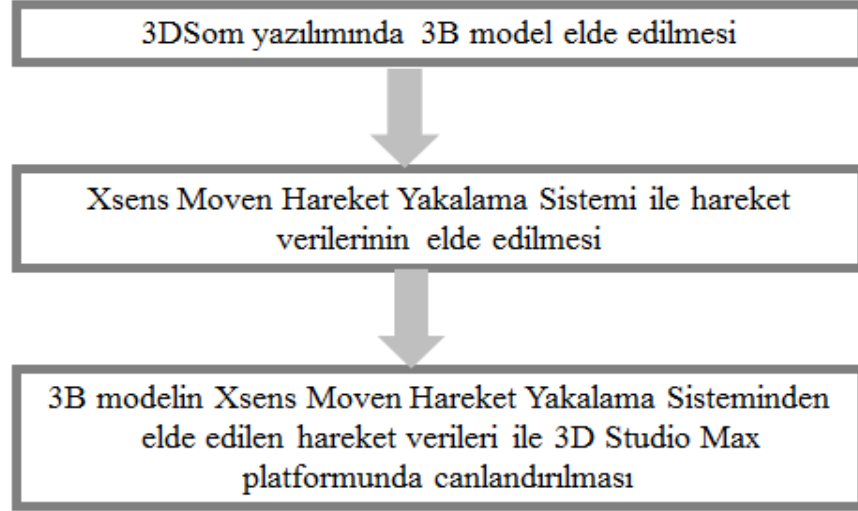
Kalibrasyon sırasında dirseklerin doğru yükseklikte durduğunu kontrol etmek gerekir. Kalibrasyon işlemi sırasında hiç hareket edilmemelidir. Gerçekleştirilen testlerde bu aşamaların tamamına dikkat edilerek testler büyük özenle yapılmıştır. Moven Studio'daki T duruş ayarlaması sistemin kalibrasyonu için en temel duruştur. Bu duruşun hangi yönde yapıldığı önemli değildir. Ancak kalibrasyon işlemini en düşük manyetik etkilenmenin olduğu yerde yapmak gerekmektedir [78].

3. BÖLÜM

UYGULAMA

3.1. Uygulama Aşamaları

Uygulama kapsamında, nesnenin 3B modeli 3DSom yazılımında elde edilmiştir. 3B modelin canlandırılması için hareket verilerinin elde edilmesinde Xsens Moven Hareket Yakalama Sistemi kullanılmış olup 3B modelin canlandırılmasında 3D Studio Max yazılımı kullanılmıştır. Uygulamaya ait akış şeması Şekil 3.1'deki gibidir.



Şekil 3.1. Uygulama akış şeması

3.2. Nesnenin Üç Boyutlu Modelinin Üretimi

Mevcut çok sayıdaki pasif üç boyutlu modelleme sistemleri, taranacak objenin boyutlarını da sınırlandıran yüksek maliyetli döner levhaya ihtiyaç duymaktadırlar. Bu sistemler nesnenin doku modelini çıkarmak için profesyonel ışıklandırmaya ihtiyaç duyarlar. Bu bakımdan 3B model üretim yazılımlarından 3DSom hem maliyet açısından hem de nesnelerini modelleme açısından güçlü bir teknolojidir. Herhangi bir objenin üç

boyutlu modellerinin hızlı, ucuz bir şekilde üretilmesi ve rakip teknolojilere göre daha az teknik beceri ve daha ucuz donanım imkânı sunması açısından 3DSom yazılımı önem kazanmaktadır. Sistem, düz bir zemin üzerine yerleştirilmiş bir kalibrasyon paterni, nesneyi yükselterek gölge etkisini engelleyen arka plan ve zeminle aynı renkte olan bir destek, 3B modeli üretilcek nesne ve sabit bir kameradan oluşmaktadır.

3DSom sisteminde 3 boyutlu modelin üretim aşaması şu şekilde sıralanabilir:

- Nesnenin fotoğraflarının farklı açılardan çekilmesi
- Kamera kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi ve nesnenin arka plandan ayrılması (bölütme)
- Siluetlerin çıkartılması
- Shape From Silhouette yöntemi (Siluet konilerinin kesiştirilmesi) ile yüzeyin oluşturulması
- Doku Haritasının üretimi

Nesnenin 3B modelinin üretimi için, nesne, özel olarak tasarlanmış fotoğrafın her açıdan çekilmesine olanak sağlayan üzerinde özel işaretler bulunan kâğıt bir katman olan ve modellenecek nesnenin boyutuna göre değişen kalibrasyon paterninin üzerine yerleştirilen destek üzerine konumlandırılır. Bir sabit kamera yardımıyla patern üzerine konumlandırılmış nesnenin fotoğrafları çeşitli açılardan çekilir. Elde edilen fotoğraflar 3DSom yazılımına aktarılıp maskeleme ve düzeltme işlemleri yapıldığında görüntülerden otomatik olarak bir 3B doku modeli oluşturulur. Sistem kalibrasyon işlemini de Tsai kamera kalibrasyon yöntemine göre gerçekleştirmektedir.

Sistem kurulumu tamamlandıktan sonra nesnenin 3B modelinin üretilmesi için fotoğrafların elde edilmesi aşamasına geçilir. Nesnenin fotoğraflarının elde edilmesi, kamera kalibrasyonu için kullanılacak kalibrasyon paterninin fotoğraflarının alınması ve siluetleri yaratmada kullanılacak gerçek nesne fotoğraflarının alınması olmak üzere iki bölüme ayrılabilir. Daha sonra nesnenin siluetleri sonuç 3B nesne modelinin üretilmesinde kullanılmaktadır.

Nesne fotoğrafları elde edilirken, sabit kamera, tripod üzerine konumlandırılır ve kalibrasyon paterni döndürülür. Kamera nesne etrafında hareket ederken, tüm görüş açılarında nesnenin fotoğraflarının elde edilmesi temel hedeftir. Fotoğraf sayısının

artırılmasına bağılı olarak 3B modelin de kalitesi artacaktır. 3DSom sisteminde nesneye ait 15-50 aralığında fotoğraf kullanılmaktadır. Nesne ve stand el ile döndürölür ve nesneye ait fotoğraflar çeşitli açılardan çekilir. Çalışma kapsamında nesnenin 3B modelinin elde edilmesinde nesneye ait farklı açılardan çekilmiş 30 fotoğraf kullanılmıştır. Nesnenin uygulamada kullanılan fotoğrafları ve 3DSom sistemine ait düzenek Şekil 3.2’deki gibidir.

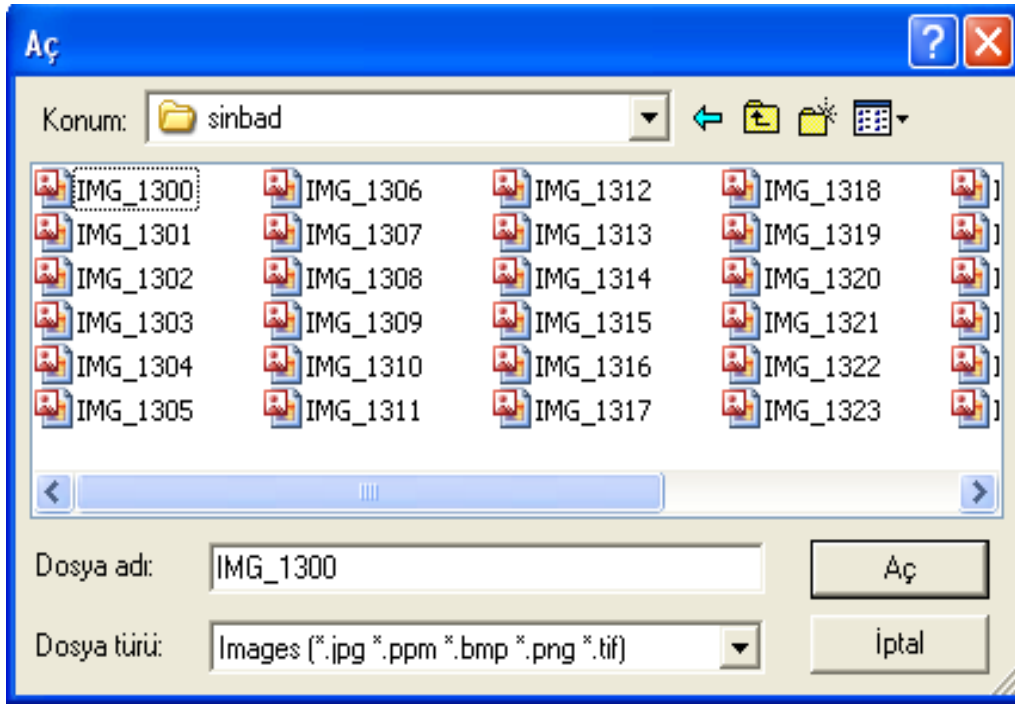


Şekil 3.2. 3DSom sistemi ve nesnenin farklı açılardan çekilmiş fotoğrafları

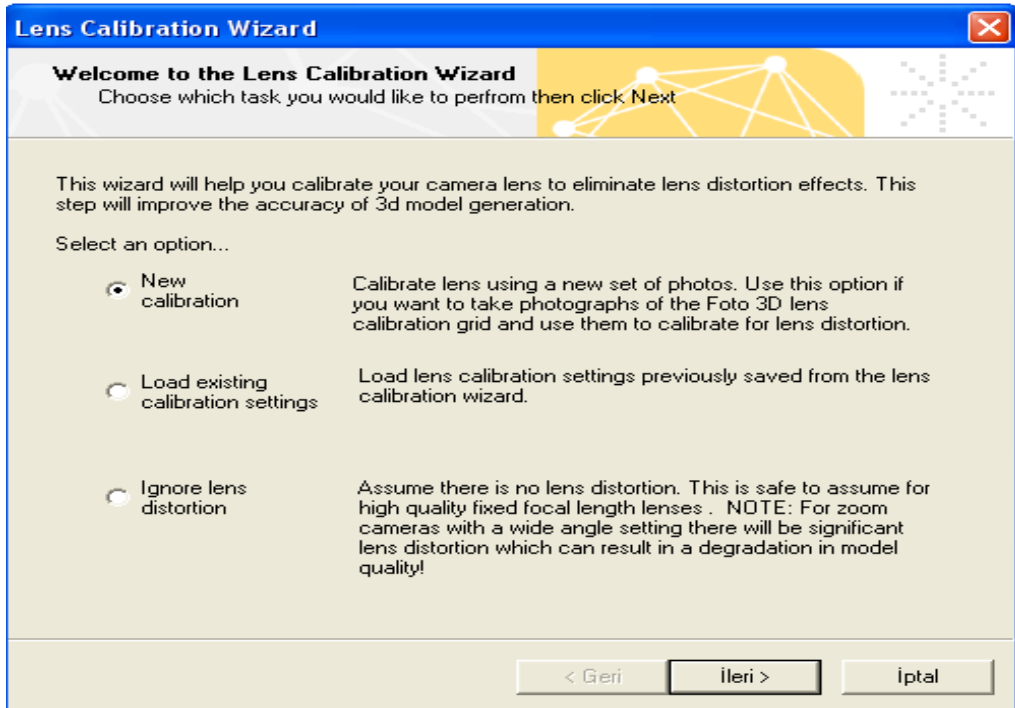
3DSom yazılımında File/New Project butonundan yeni bir proje açılır. Bu butona tıklandıktan sonra çekilen fotoğrafları yüklemek için Şekil 3.3’deki gibi o fotoğrafların kayıtlı olduğı dosyaya gidilir.

Sistem, kalibrasyonu Tsai kalibrasyon yöntemini kullanarak gerçekleştirmektedir. Başlangıç olarak File/calibrate lens menüsünden “new calibration” seçilir. Bu aşamadan sonra Şekil 3.4’deki “Lens Calibration Wizard” penceresinde “ New Calibration Wizard ” seçeneğı işaretlenerek lens kalibrasyonu aşamasına geçilir. Daha önceden var olan bir kalibrasyonu kullanmak için “ load existing calibration settings ” seçeneğı

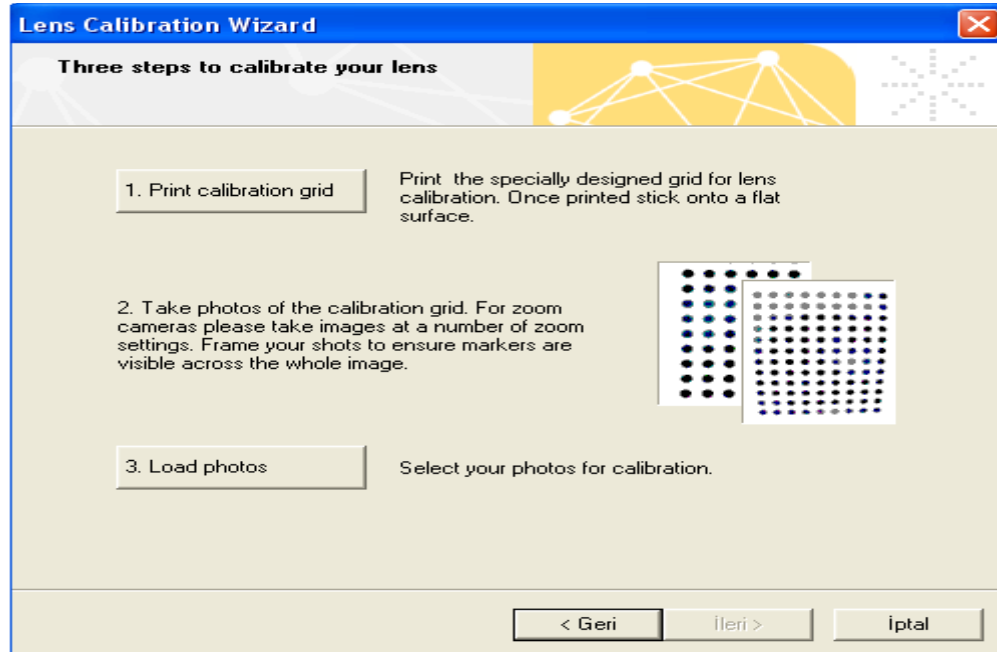
işaretlenir. Kalibrasyon paterninin farklı açılardan çekilmiş fotoğrafları Şekil 3.5’deki gibi yazılıma aktarılır.



Şekil 3.3. Yazılıma farklı açılardan çekilmiş fotoğrafların yüklenmesi

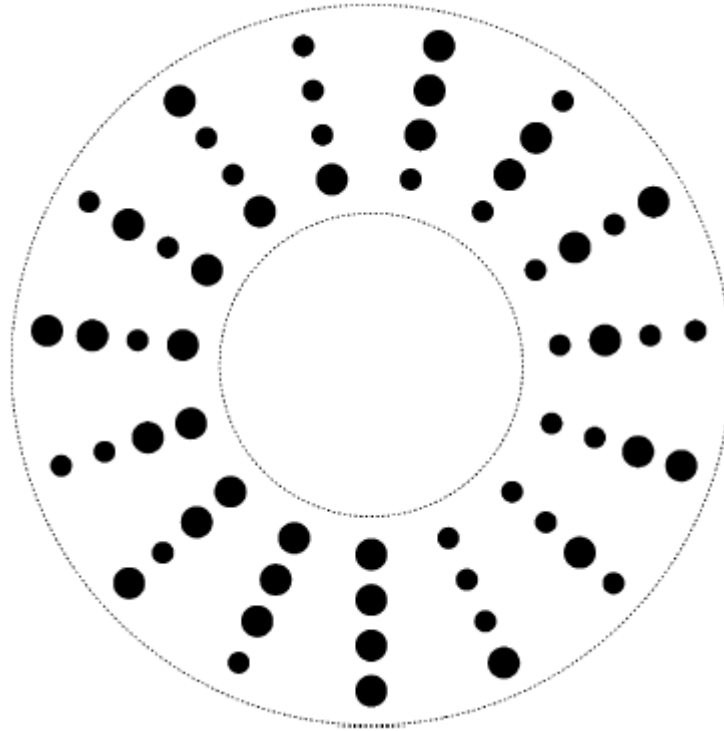


Şekil 3.4. Kamera kalibrasyon aşamasının başlatılması



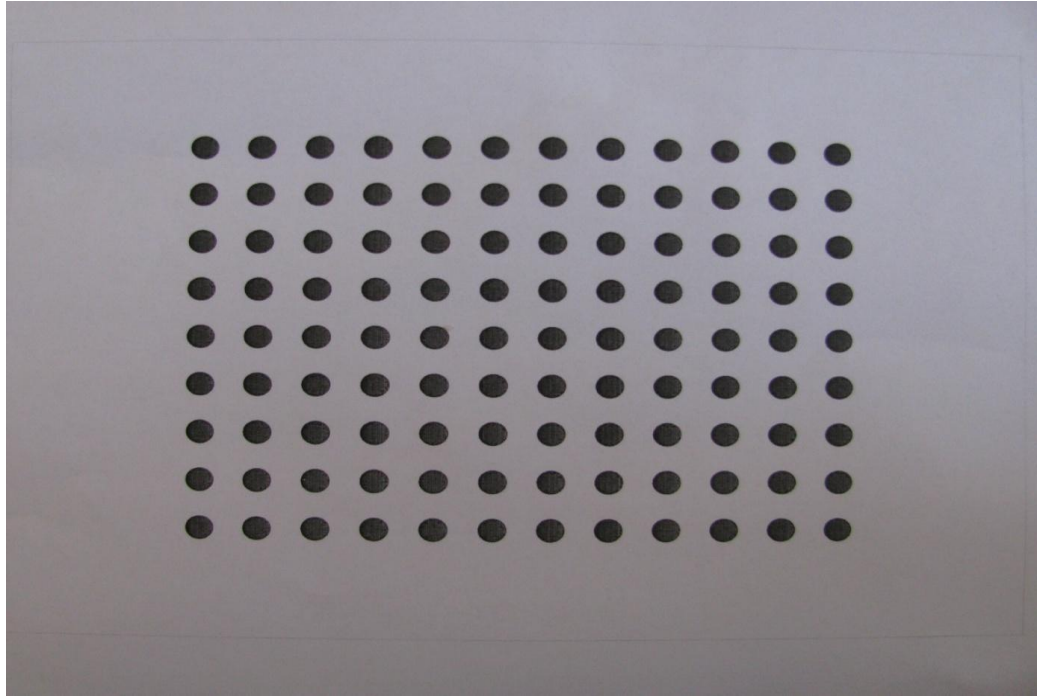
Şekil 3.5. Kalibrasyon paterninin fotoğraflarının yazılıma aktarılması

3DSom kalibrasyon paterni Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Sıradan siyah ve beyaz bir yazıcıdan çıkarılabilen düzlemsel bir patern kullanan kalibrasyon paterni geniş bir çember etrafında dairesel olarak sıralanmış 4 noktanın 15 grubunu içerir.

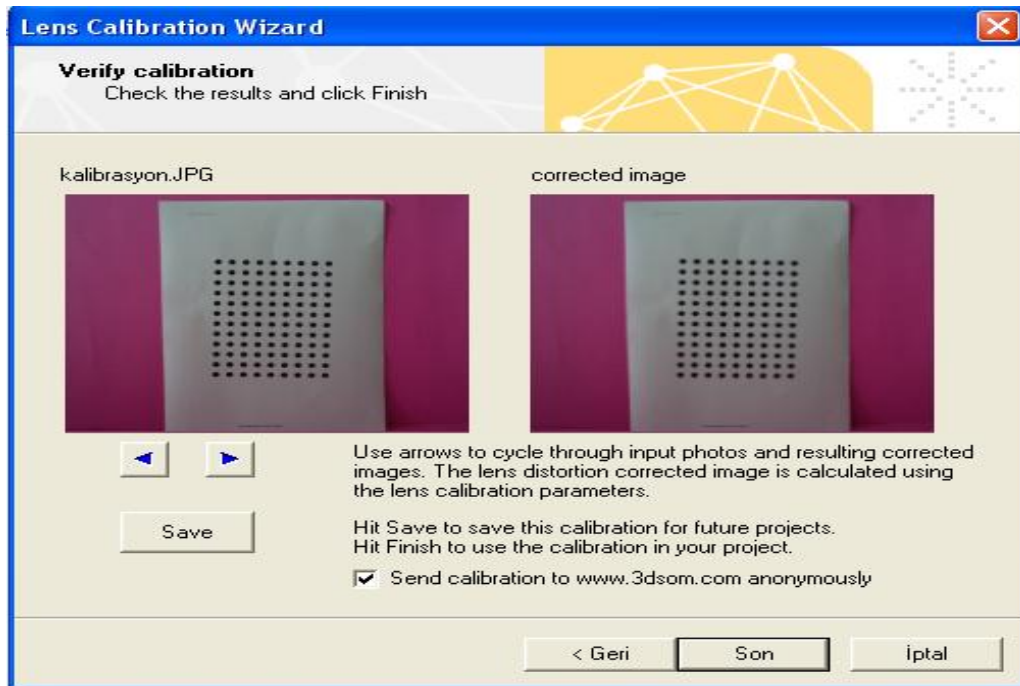


Şekil 3.6. 3DSom Kalibrasyon Paterni

Lens kalibrasyonunun desteği düz bir yüzey üzerinde olmalıdır ve noktaların bütün bir nesneyi kaplamasına dikkat edilmelidir. Tüm ızgaranın görünmesine gerek yoktur fakat yatayda ve düşeyde en az altı noktanın görünmesi gerekir.



Şekil 3.7. 3DSom kalibrasyon altlığı



Şekil 3.8. Kalibrasyonun gerçekleştirilmesi ve kaydedilmesi

Girdi fotoğrafları ve distorsiyonsuz görüntüler lens kalibrasyonu sonucu görüntülenebilir. Noktalar artık kesin düz çizgiler şeklinde belirlenecektir. Bu kalibrasyon Şekil 3.8'deki gibi “save” butonu ile saklanabilir.

Görüntülerin projeye eklenmesi ve kamera kalibrasyonunun gerçekleştirilmesinden sonraki adım maskeleme işlemidir. Maskeleme işleminden sonra cismi çevreleyen arka plan kaybolur. Cismin her tarafının maske ile kaplanması önemli bir unsurdur. 3DSom programı maskeleme işlemini otomatik ve manuel olarak gerçekleştirebilmektedir. Ancak otomatik maskeleme yapıldığında bölütlemeyen istenilen sonuç alınamamaktadır. Otomatik maskeleme yapıldığında nesne silüetleri hassas olarak belirlenememektedir. Nesne silüetlerin kesiştirilmesi yoluyla 3 boyutlu modele ulaşılmasından dolayı otomatik maskeleme gerçekleştirilmesi modelin kalitesi açısından olumsuzluklara yol açacaktır. Bu sebeple uygulamada Şekil 3.9'da gösterildiği gibi manuel maskeleme gerçekleştirilmiştir.

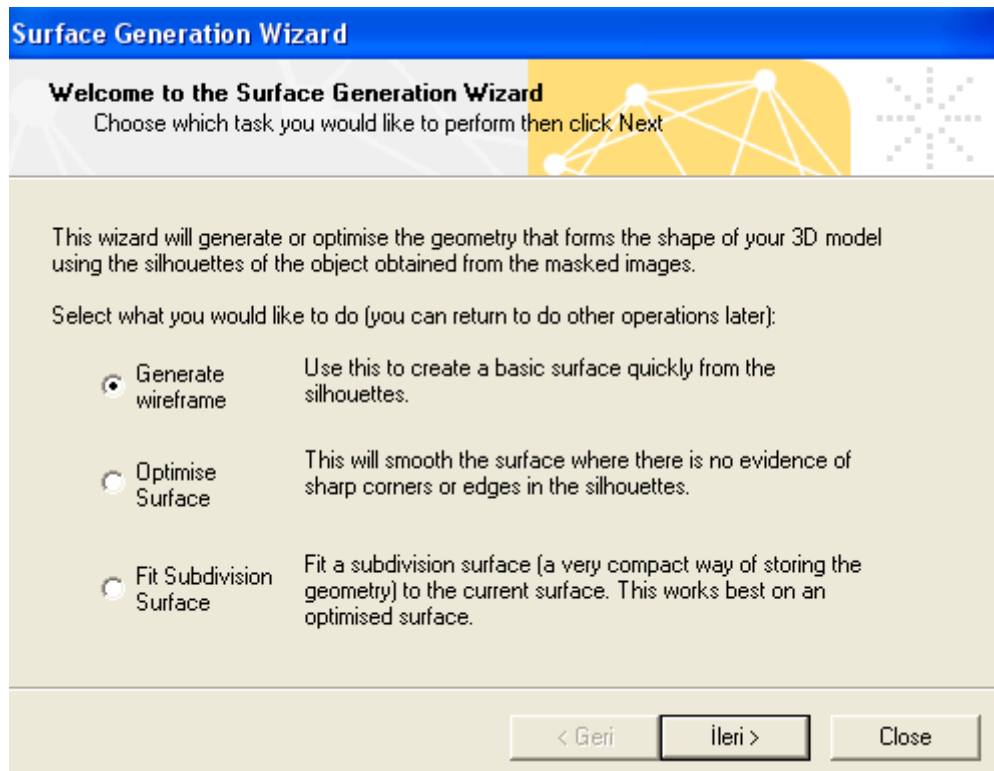


Şekil 3.9. Nesne bölütleme

Manuel maskeleme işleminden sonra modellenecek nesne arka plandan ayırt edilmiş olur. Silüetlerin hassas olarak üretilmesi nesnenin 3B modelinin hassasiyeti açısından önemlidir. 2 boyutlu imgelerden elde edilen silüetlerin kesiştirilmesi yoluyla 3 boyutlu

modele ulaşılmasından dolayı silüetlerinin çıkartılmasında silüet sınırlarının doğru ve hassas bir şekilde belirlenmesi ve nesne bölgesindeki eksik piksellerin minimize edilmesi gerekmektedir. Bölütleme işleminde yapılan hatalar istenilen sonuçların elde edilememesini ortaya çıkaracaktır. Yani nesnenin arka plandaki desenden doğru bir şekilde ayrılması üretilen modelin doğruluğunu olumsuz etkileyecektir. Maskelenmiş resimlerden elde edilen nesnelerin silüetlerini kullanarak 3B modelin üretimi için bir nesne yüzeyi üretilir.

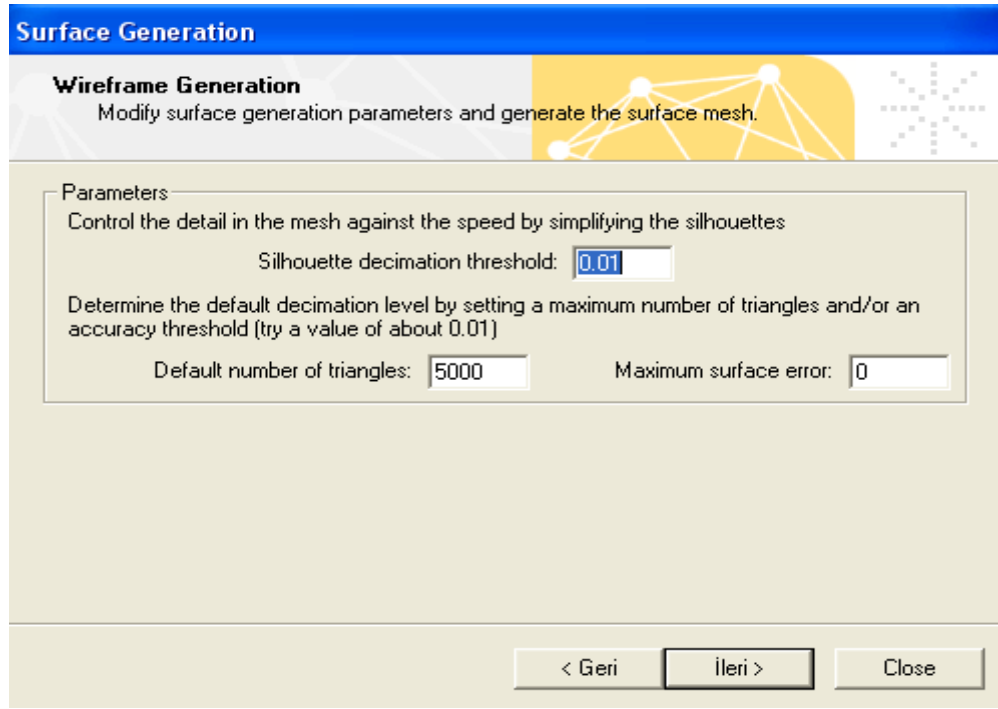
Maskeleme işlemi ile modeli üretilen nesne arka plandan ayrıldıktan sonra nesne silüetleri kullanılarak 3B modelin elde edilmesi için “Surface Generation Wizard” seçeneği ile yüzey tanımlama işlemine geçilir. Nesne yüzeyi SFS yöntemine göre yani silüetlerin kesişiminden üretilmektedir.



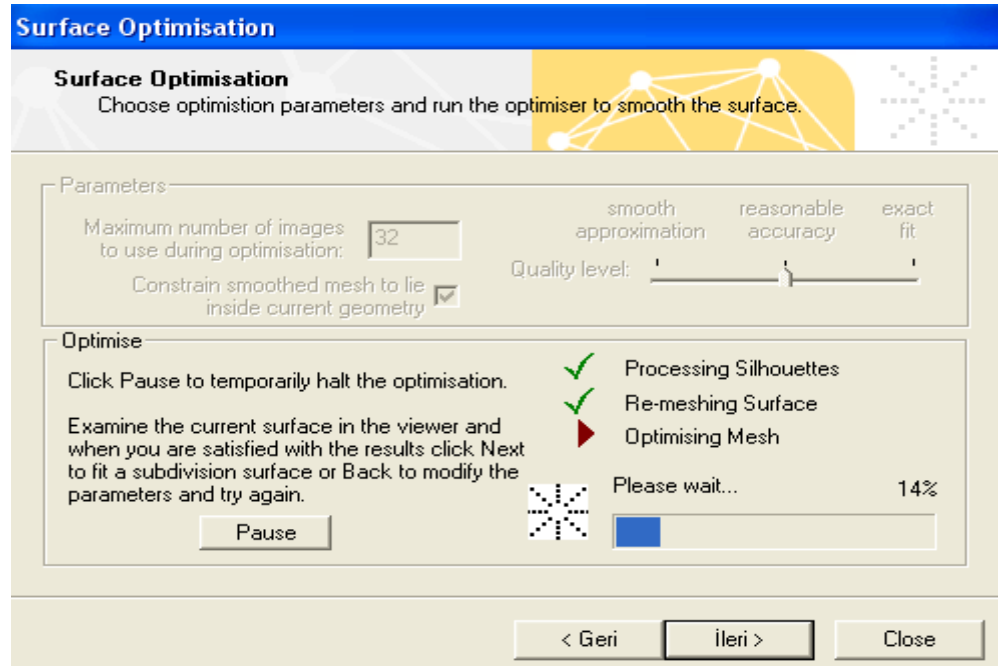
Şekil 3.10. Nesne silüetlerinden yüzey örgüsünün tanımlanması

Şekil 3.10'daki “Surface Generation Wizard” sihirbazı, maskelenmiş resimlerden elde edilen nesne silüetlerini kullanarak 3B modelin şeklini en uygun hale getirir. Bu sihirbazdaki “Generate Wireframe” seçeneği silüetlerden hızlı bir şekilde basit bir yüzey yaratmak için kullanılır. “Optimise Surface” seçeneği silüetlerdeki üretilen

yüzeyi pürüzleştirir. “Surface Generation Wizard” sihirbazında “Generate Wireframe” seçeneğine tıklandığında Şekil 3.11’deki “Surface Generation” penceresi açılır. Bu pencerede eşik değeri (threshold) ve modeldeki üçgenleme değeri gibi yüzey üretim parametreleri düzeltilir ve yüzey örgüsü çıkartılır.

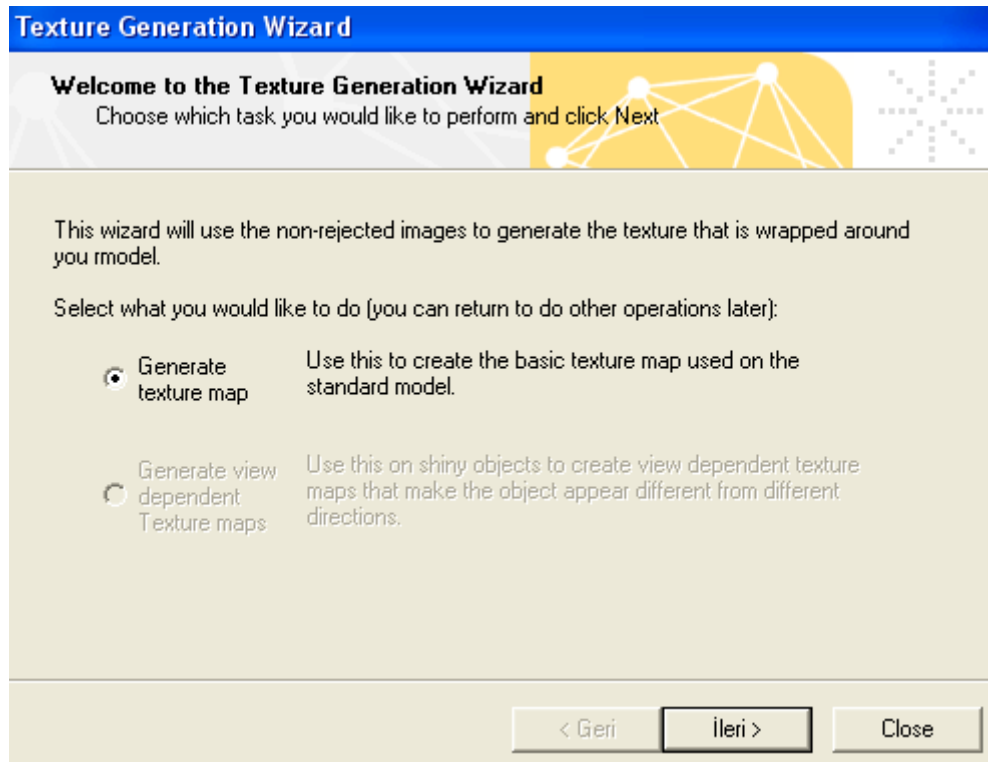


Şekil 3.11. Nesnenin tel kafes modeli için parametrelerin girilmesi



Şekil 3.12. Yüzeyin en uygun hale getirilmesi

Yüzey örgüsü çıkarıldıktan sonra elde edilen yüzey üzerinde basit görüntü işleme operasyonları uygulanır. Şekil 3.12’deki “Surface Optimisation” seçeneği üretilen yüzeyi pürüzsüzleştirir. Bu pencerede silüetler işlenir, yüzey yumuşatılır ve yüzey en uygun hale getirilir. Yüzey örgüsü çıkarılıp tanımlandıktan sonra doku haritası (Texture map) çıkarılır.

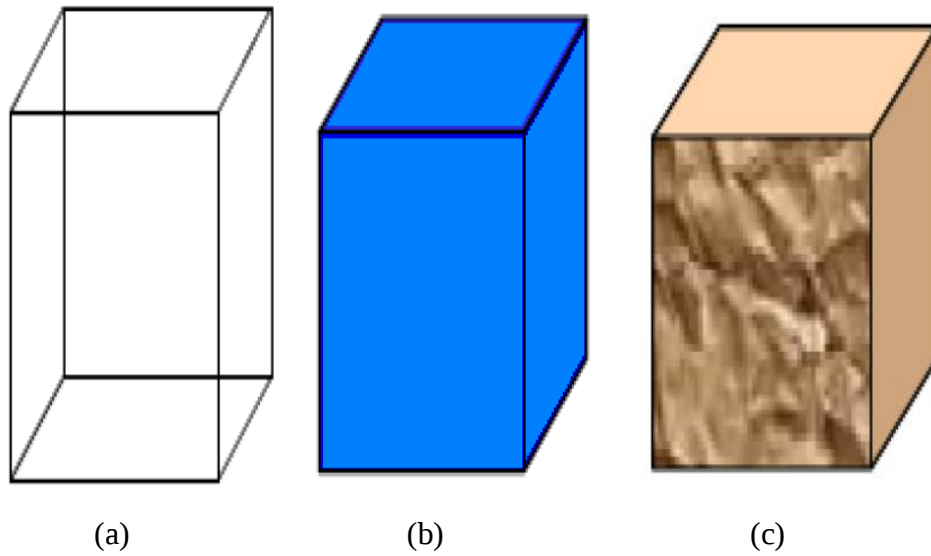


Şekil 3.13. Doku haritasının elde edilmesi

Şekil 3.13’deki “Texture Generation Wizard” penceresinde “Generate Texture Map” seçeneği ile standart model üzerinde basit bir doku haritası oluşturulur. Karmaşık ve ayrıntılı bir fiziksel yapıda olan bilgisayar ortamında üretilmiş modellerin gerçekçi görünmelerini sağlamak için yüzey görünümlerinin tanımlanması gerekir. Gerçekçi ve ayrıntılı görüntüler elde edebilmenin etkili yollarından biri de doku kaplamadır. Doku kaplaması yapılmamış bir 3B model tek renk ile boyandığında derinlik etkisi vermesine rağmen görünümü gerçekçi değildir.

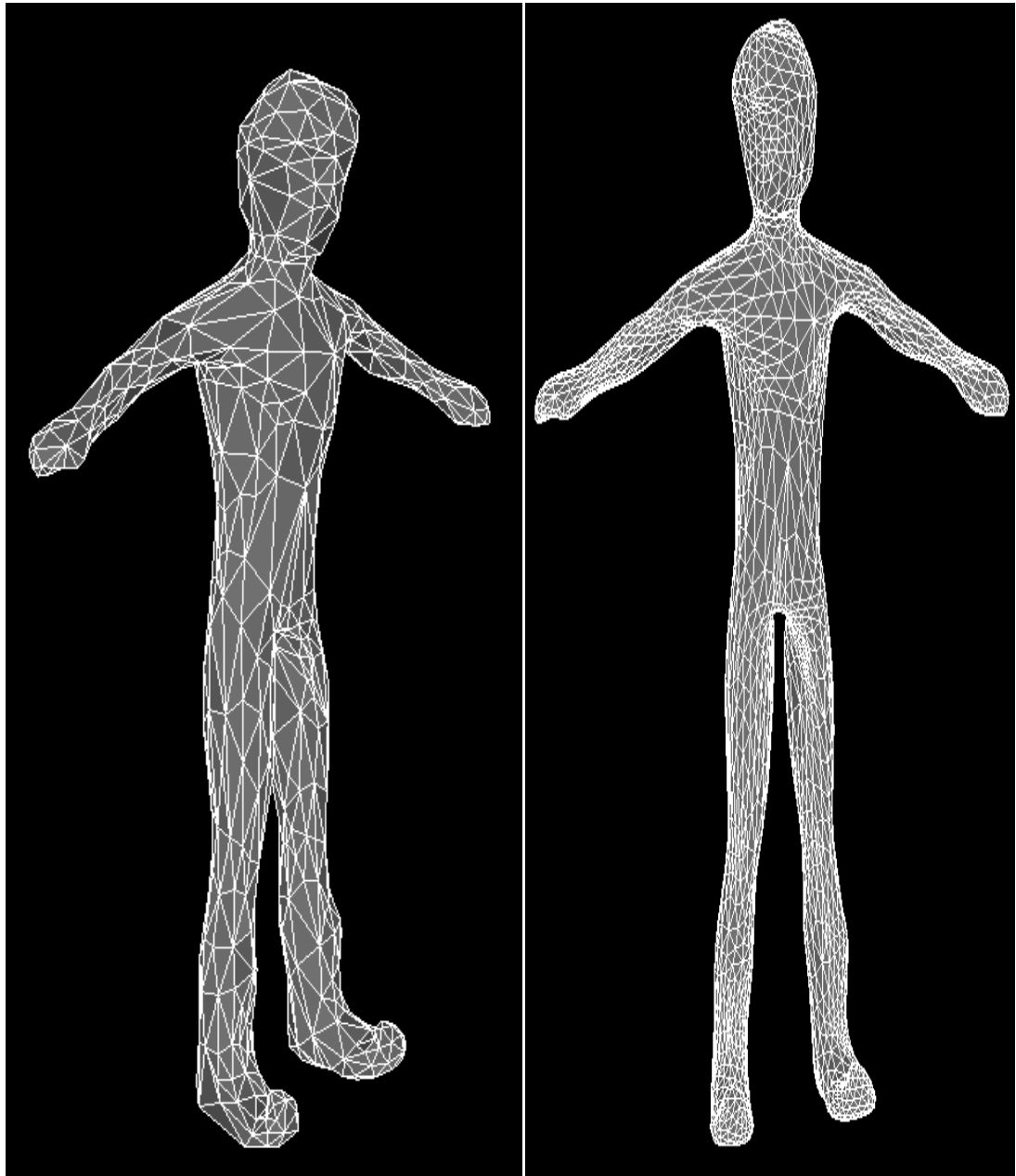
Doku haritasının üretilmesinden sonra 3B modeli üretilen nesneler farklı şekillerde sunulabilir. Şekil 3.14’te 3B gösterim şekilleri gösterilmiştir. Katı modelleme, nesnelerin yüzeylerinin renk, doku özellikleri gibi yüzey özelliklerinin dikkate alınarak

gösterimleri olarak ifade edilebilir. Nesnelerin yüzey yapısının sadece çerçevelerinden oluşan gösterim şekli (wireframe model) tel kafes gösterim olarak bilinir. Yüzeyleri ortadan kaldırılarak, model bir çizgi ve tel şeklinde gösterilir. Sadece kenarlar çizildiğinden ve yüzeyleri oluşturan her bir noktanın renginin hesaplanması ve çizilmesi gerekmediğinden genel olarak önizlemelerde nesnelerin genel görüntüsünü veren tel kafes gösterim kullanılır [81,82,83,84,85].



Şekil 3.14. Üç boyutlu gösterim şekilleri a) Tel çerçeve gösterim
b) Katı gösterim c) Doku kaplı gösterim

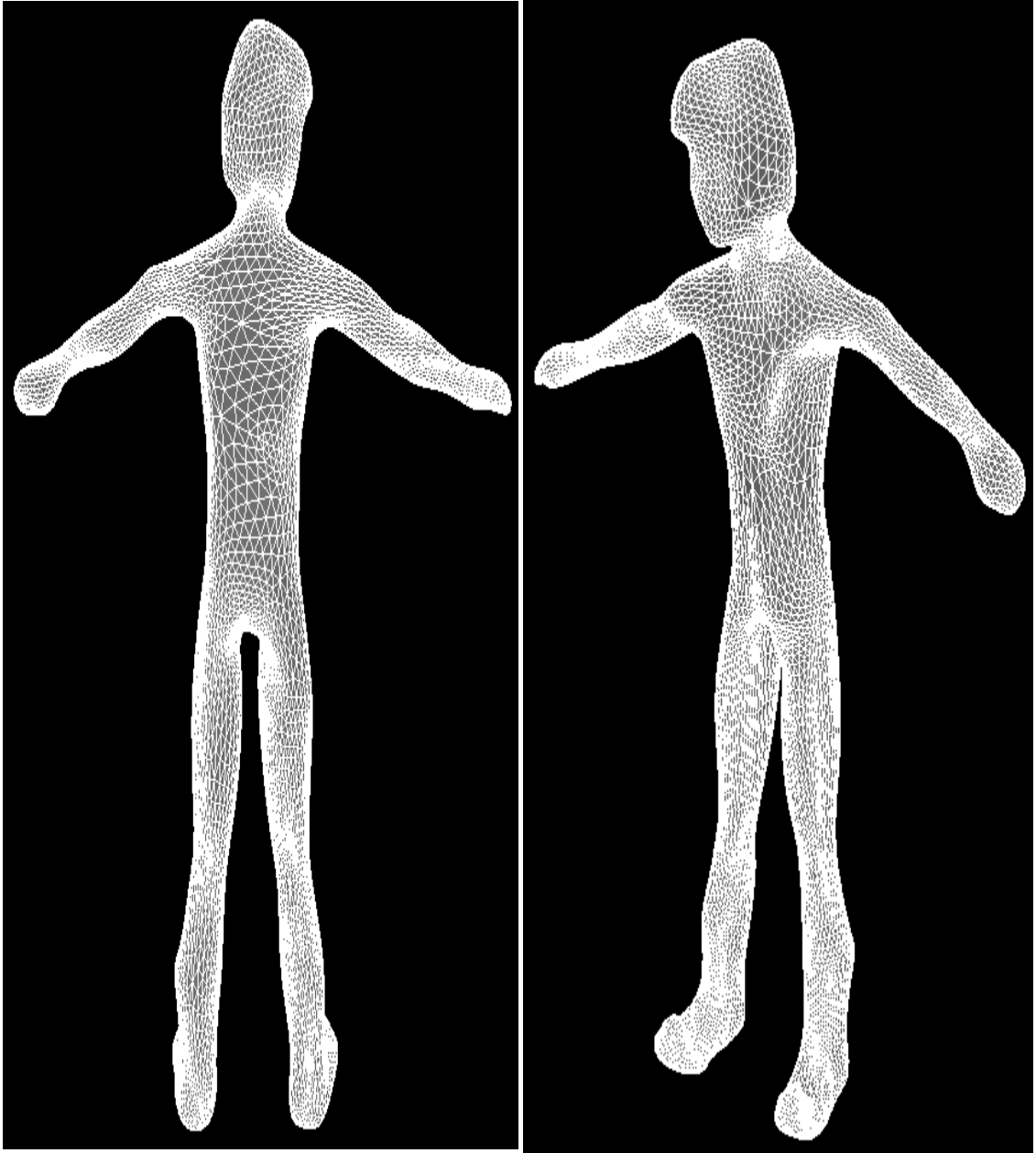
Yüzey örgüsünün tanımlanmasında kullanılan üçgenleme sayısına bağlı olarak modelin geometrisinde farklılıklar meydana gelmektedir. Uygulamada 1300, 5000 üçgenden oluşan oyuncağımızın tel çerçeve modeli Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Nesnenin 20000 üçgenden oluşan tel çerçeve modeli ise Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



(a)

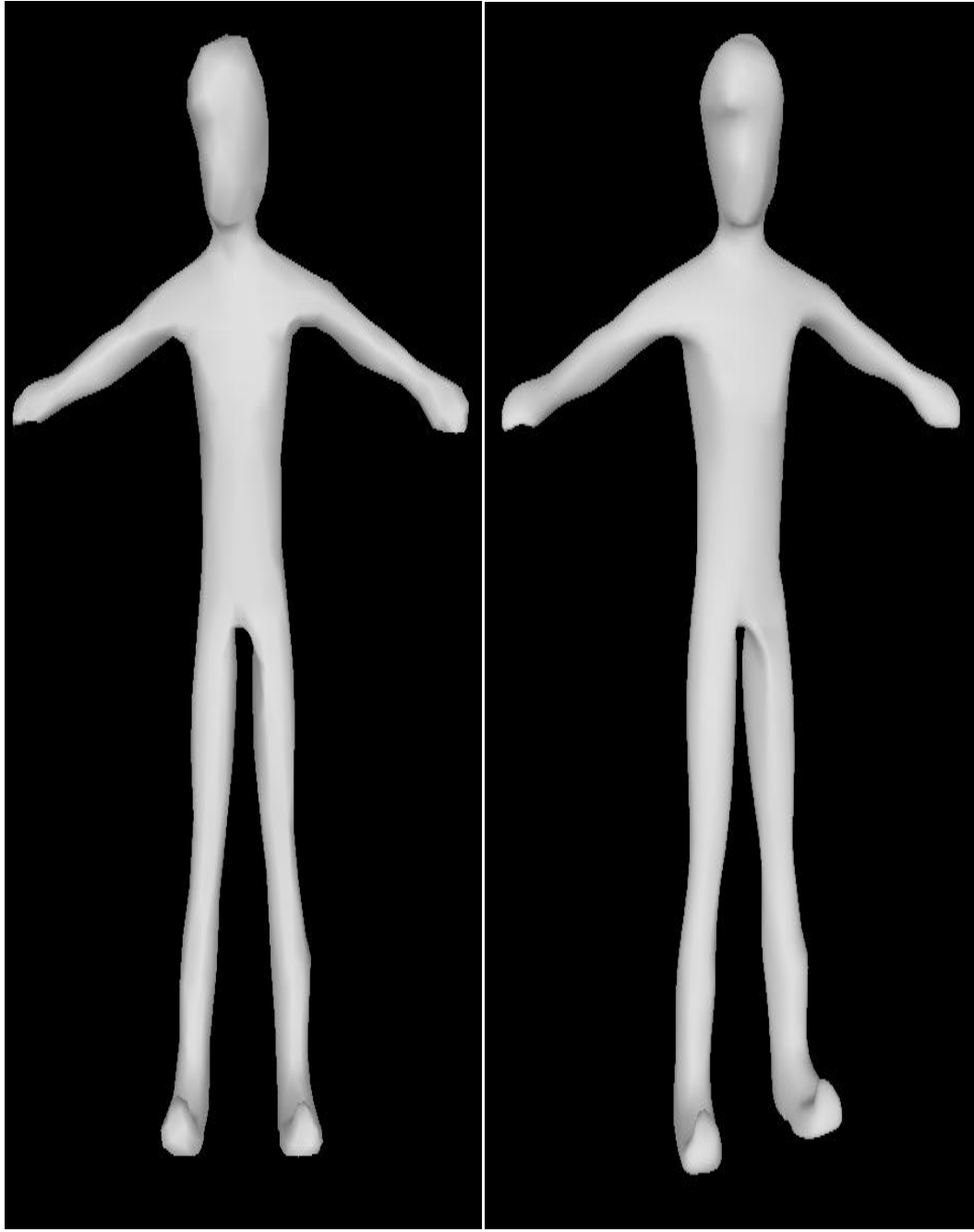
(b)

Şekil 3.15. Nesnenin tel çerçeve modelleri a) 1300 üçgenden oluşan nesnenin tel çerçeve modeli b) 5000 üçgenden oluşan nesnenin tel çerçeve modeli



Şekil 3.16. 20000 üçgenden oluşan nesnenin tel çerçeve modeli

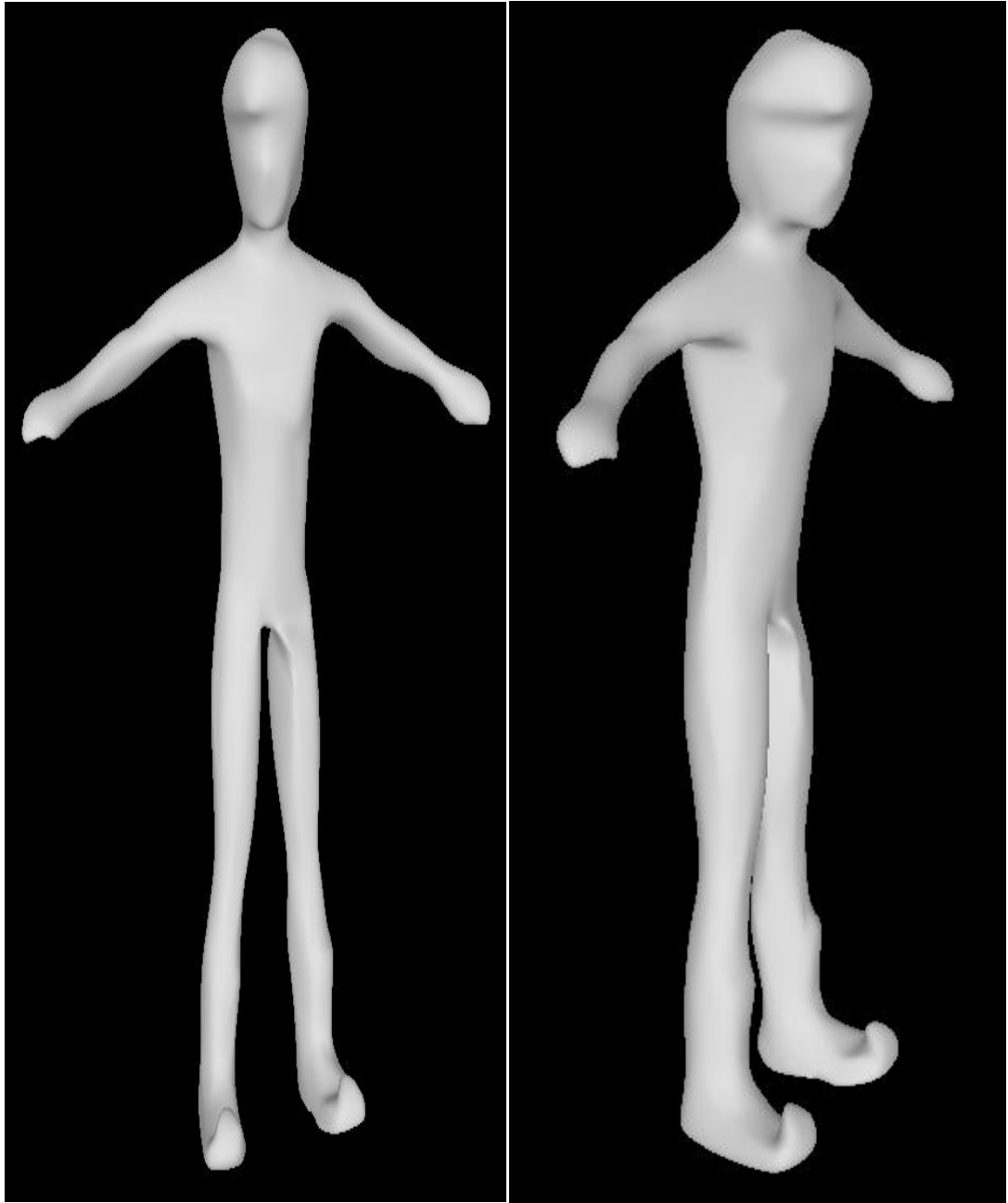
Aynı şekilde üçgenleme sayısına bağlı olarak uygulamada 1300 ve 5000 üçgenden oluşan oyuncağımızın katı modeli Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Nesnenin 20000 üçgenden oluşan katı modeli ise Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



(a)

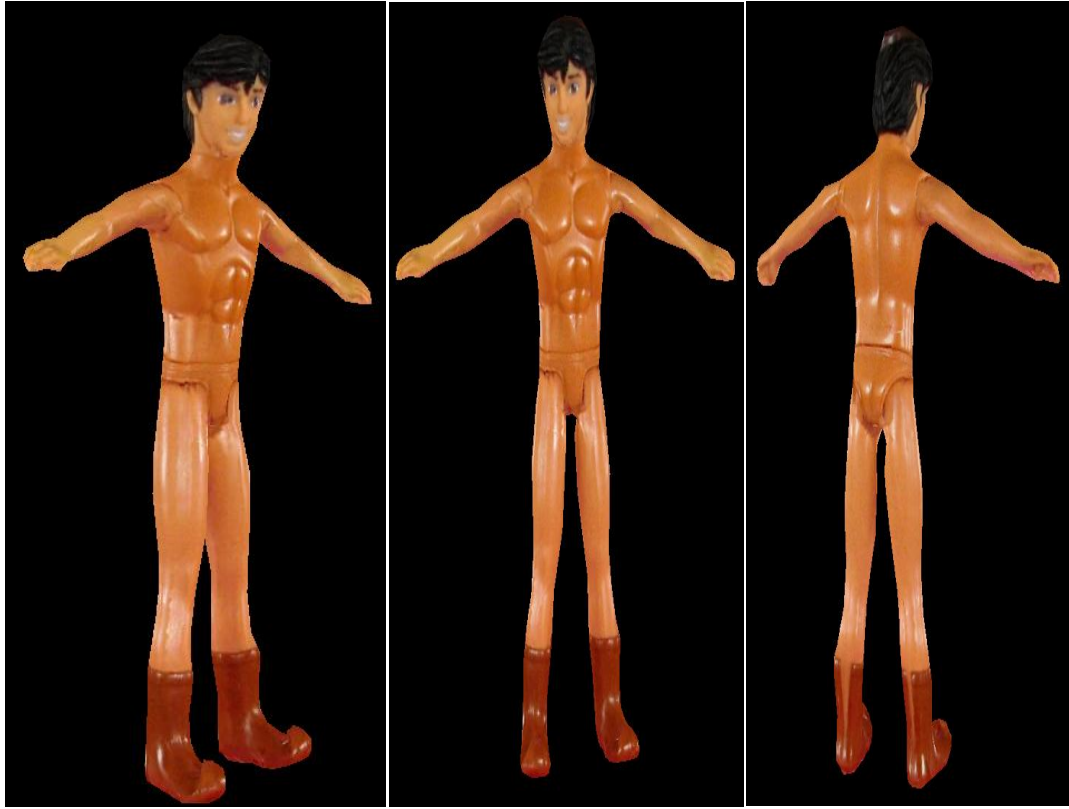
(b)

Şekil 3.17. Nesnenin katı modelleri a) 1300 üçgenden oluşan nesnenin katı modeli b) 5000 üçgenden oluşan nesnenin katı modeli



Şekil 3.18. 20000 üçgenden oluşan nesnenin katı modeli

Aynı şekilde üçgenleme sayısına bağlı olarak uygulamada 1300 üçgenden oluşan oyuncağımızın doku kaplı modeli Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Nesnenin 5000 üçgenden oluşan doku kaplı (texture map) modeli ise Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Nesnenin 20000 üçgenden oluşan doku kaplı (texture map) modeli ise Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.19. 1300 üçgenden oluşan nesnenin doku kaplı modeli



Şekil 3.20. 5000 üçgenden oluşan nesnenin doku kaplı modeli



Şekil 3.21. 20000 üçgenden oluşan nesnenin doku kaplı modeli

Nesneye ait doku kaplı modellerin kalitesi üçgenleme sayısına bağlı olarak değişmektedir. Uygulamada 1300, 5000, 20000 üçgene bağlı olarak 3DSom yazılımında 3B doku modeli üretilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, üçgen sayısının artmasına bağlı olarak 3B modelin yüzeyi pürüzsüz hale gelmekte, yumuşamakta ve 3B modelin kalitesi artmaktadır.

3.3. Üç boyutlu Model Canlandırma

Hareket eden nesnelerin, belirli aralıklarla çekilmiş fotoğrafları arka arkaya değerlendirildiğinde, beynimiz bu nesneleri gerçekten hareket ediyormuş gibi algılamaktadır. Canlandırma, tek tek resimleri veya hareketsiz nesneleri, gösterim esnasında hareket duygusu verebilecek biçimde düzenleme olarak tanımlanabilir [86].

Canlandırma, yaygın olarak çizgi sinema olarak ortaya çıkmıştır. Çizgi canlandırmada, olayı oluşturan her kare, çizimciler tarafından tek tek çizilir ve boyanır. Teknolojinin

gelişmesine bağlı olarak çizgi canlandırmada kullanılan geleneksel canlandırma yöntemleri bilgisayarla canlandırma yöntemlerine uygulanmaya başlamıştır [86].

Bilgisayar ve bilgisayar destekli grafik çalışmaları kapsamında canlandırma sektörü bilgisayar teknolojisinden ayrılmaz bir bütündür. Bilgisayarla canlandırma iki kategoriye ayrılabilir [87]:

- Bilgisayar destekli canlandırma (computer assisted animation)
- Bilgisayarla yapılan canlandırma (computer generated animation)

Bilgisayar destekli canlandırma, geleneksel olarak çizilmiş çizgi canlandırmanın bilgisayar ortamına taşınması olarak tanımlanabilir. Çizgi canlandırmanın oluşturulma süreci bilgisayar teknolojisiyle hızlanmış ve kolaylaşmıştır. Bilgisayarla yapılan canlandırmada ise tüm görüntüler nesnelerin üç boyutlu modelleri ve gerçekçi aydınlanma modelleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Çizgi canlandırmada karşılaşılan en büyük zorluklardan bir tanesi, her karenin tek tek elle çizilmesi zorunluluğudur. Tecrübeli çizerler daha etkin çalışabilmek ve zamanlarının tamamını bütün kareleri çizmekle harcamamak için sadece anahtar kareler (keyframes) olarak adlandırılan önemli kareleri çizerler. Canlandırmanın ara kareleri ise, anahtar karelere bağlı kalınarak yardımcı çizerler tarafından çizilir. Bilgisayarla canlandırma yöntemlerinde ise, anahtar kareler canlandırmayı yapan kişi olup ara kareler de bilgisayar tarafından oluşturulur [86].

Gelişen animasyon sektörü ve sanal gerçeklik uygulamaları için gerçeğe yakın hareketlerin elde edilmesi önemli bir konudur. 3B modellerin canlandırılması için gerçekçi hareketlerin yakalanması gerekmektedir. Uygulama kapsamında 3DSom yazılımı ile elde edilmiş 3B nesne modelinin 3D Studio Max platformunda canlandırılması için kullanılacak olan hareket verileri Xsens Moven Hareket Yakalama Sistemi'nden elde edilmiştir. Xsens Moven Hareket Yakalama Sistemi'nde hareket verilerinin elde edilmesi kapsamında, inersiyal ölçüm algılayıcılar (MTx, MTx-L) ve Xbus Master cihazlarından oluşan likralı elbise aktöre uygun şekilde giydirilir. Xsens Moven Hareket Yakalama Sistemi düzeneği Şekil 3.22'de görüldüğü gibidir.



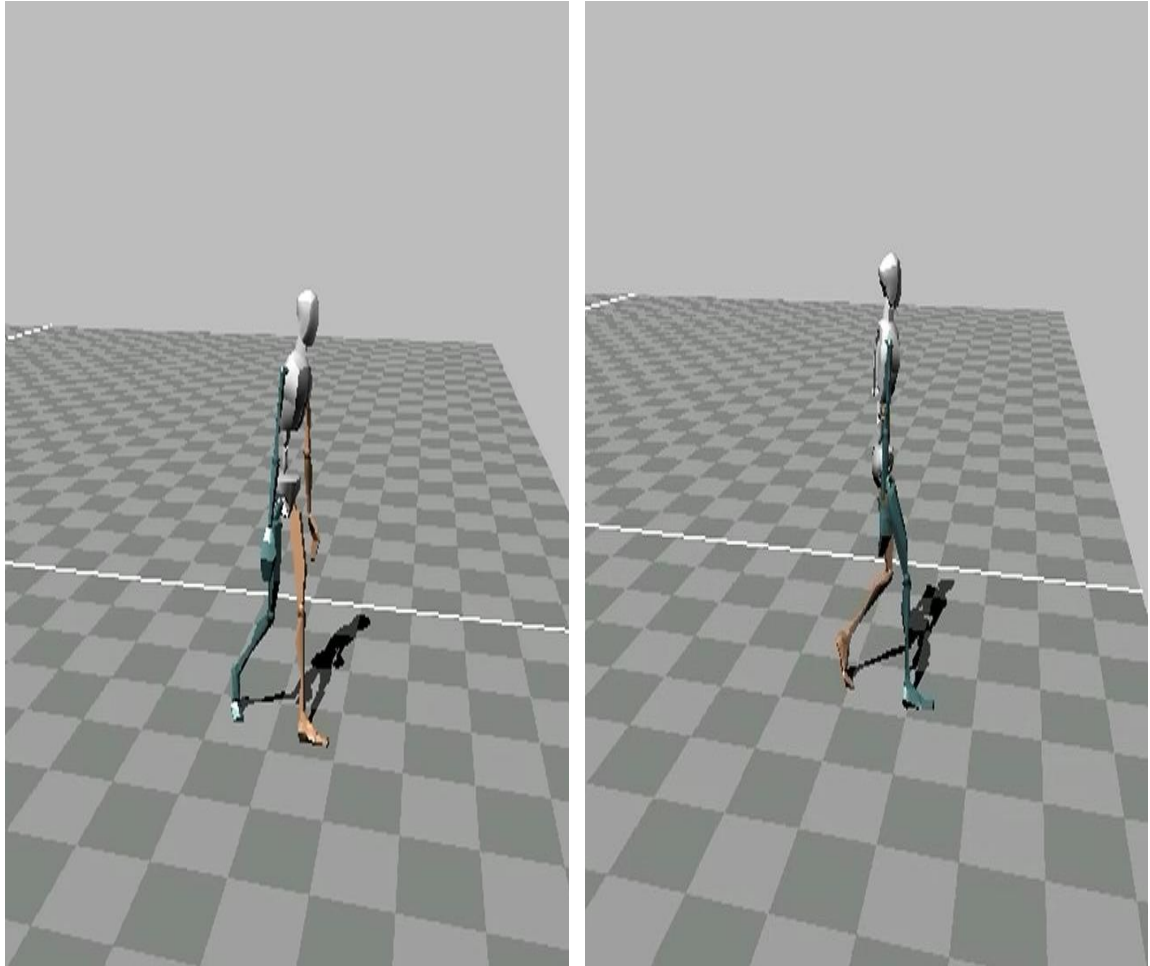
Şekil 3.22. XSens Moven hareket yakalama sistemi düzeneği

Algılayıcıların vücutta hangi bölgede olduklarını tanımlayan kalibrasyon aşaması Şekil 3.23'deki gibi gerçekleştirilir.



Şekil 3.23. Kalibrasyon aşamasına ait temel duruş

Sistemin hazır hale gelmesiyle aktörün gerçekleştirdiği hareketler Moven Studio ortamında Şekil 3.24'deki gibi eş zamanlı olarak görülür, kaydedilir ve düzenlenir. Buradan elde edilen hareket verileri ise 3DSom sisteminde elde edilmiş nesne modelinin 3D Studio Max platformunda canlandırılması aşamasında kullanılmaktadır.



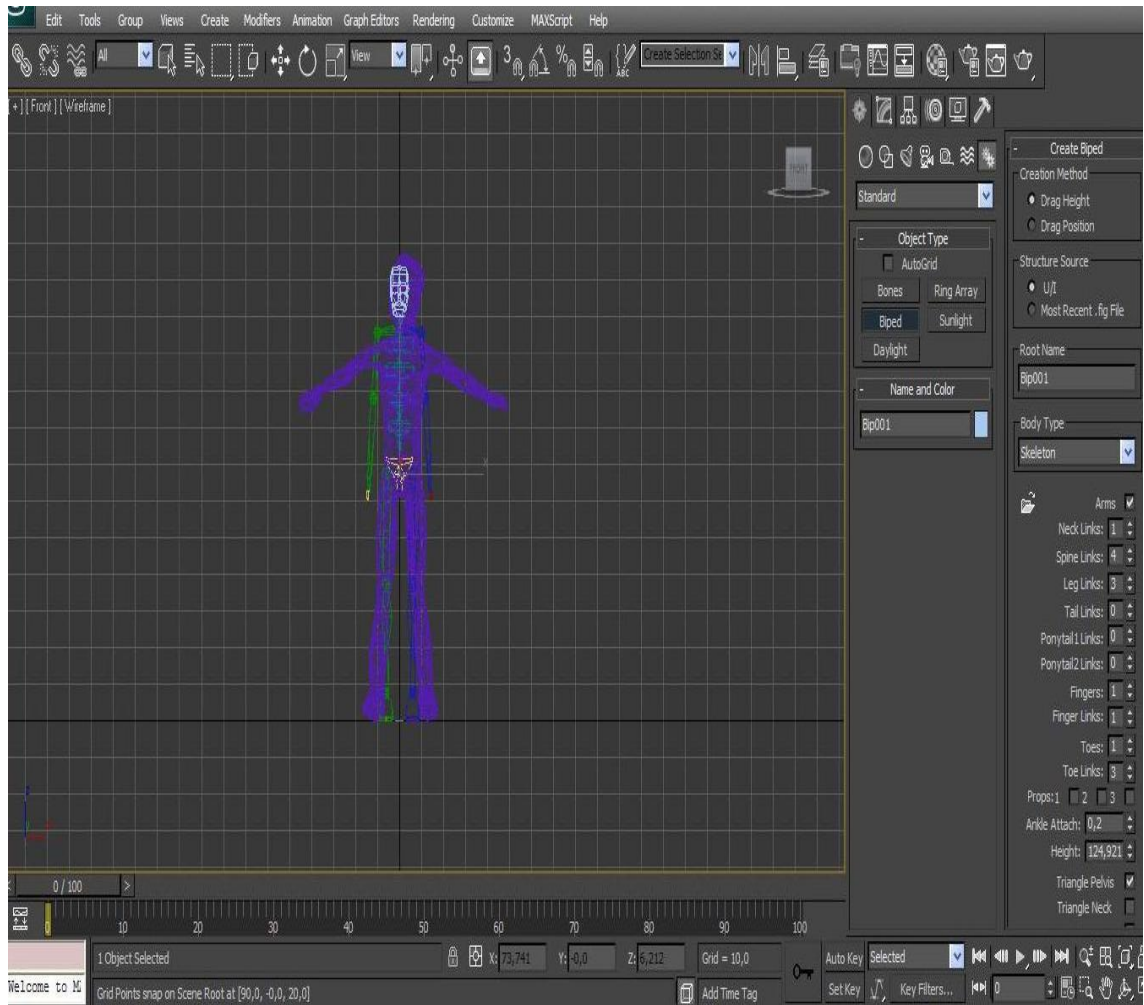
Şekil 3.24. Moven Studio ortamında hareketlerin eş zamanlı olarak görüntülenmesi

3D Studio Max, Autodesk tarafından geliştirilen bir 3B modelleme yazılımıdır. 3D Studio Max, parçacık sistemleri, karakter modelleme araçları, hareket yakalama araçları ve gelişmiş denetçiler gibi özellikleriyle tek bir pakette çok sayıda özelliği sunmaktadır. Söz konusu yazılımla her türlü dönüşüm (transformation), modelleme, malzemeye kaplama (material mapping), ışıklandırma, kamerayla izleme, canlandırma, render ve düzenleme yapılabilir.

3D Studio Max yazılımında üç boyutlu nesnenin canlandırılması aşamasında, 3DSom programı ile elde edilen 3 boyutlu model import edilir ve model riglenmeye uygun hale

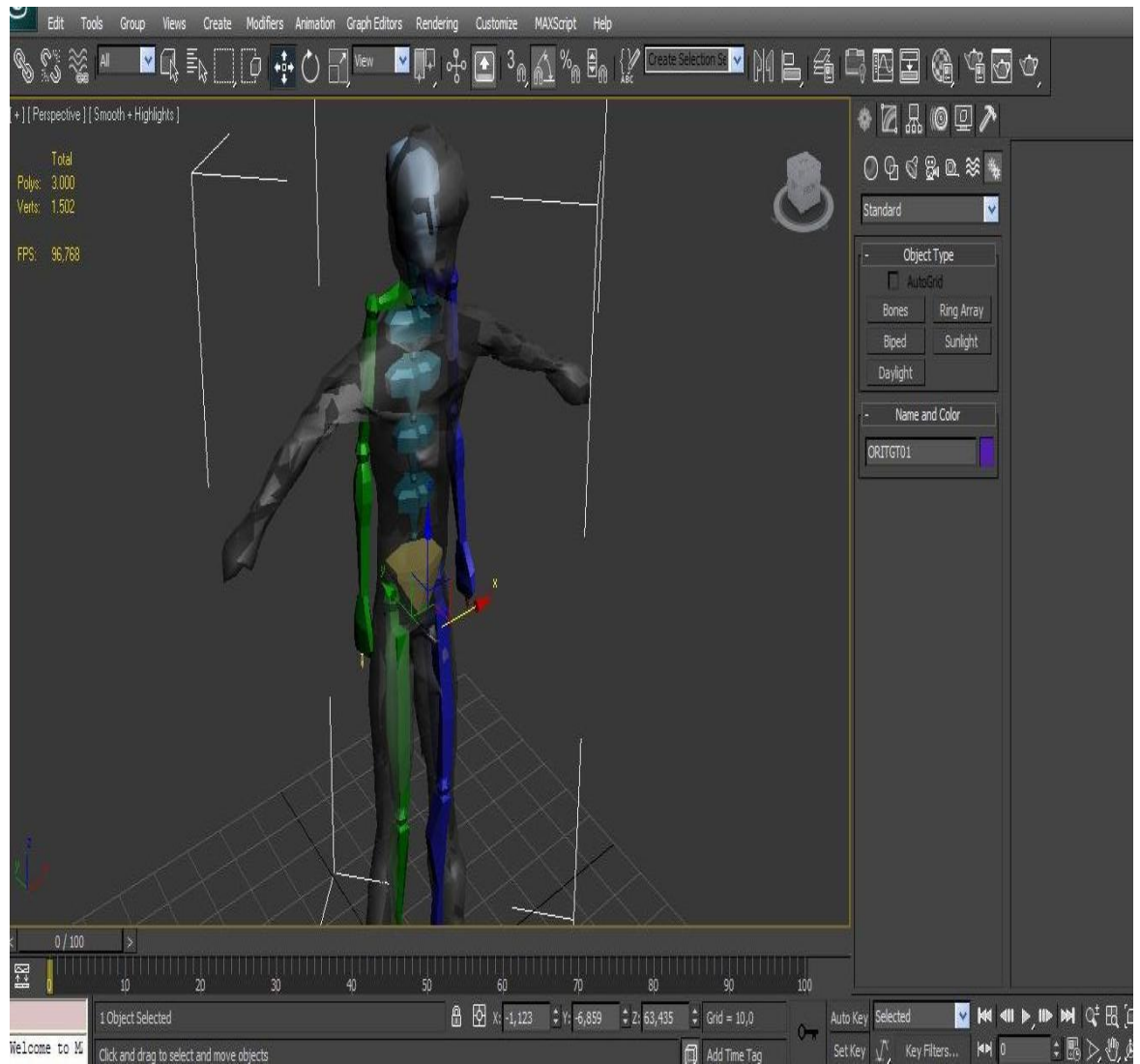
getirilir. Malzeme üreticisi olarak bilinen Material Editörden materyaller atılır. 3D Studio Max programında malzeme, nesnelerin render edildiklerinde görünebilmeleri için, onu oluşturan yüzeylere atanan bilgi olarak tanımlanmaktadır [80].

Malzemeler renk, ışık geçirgenliği, parlaklık vb. bazı bilgileri içlerinde barındırırlar ve Material Editör bölümü aracılığıyla nesnelere atanırlar. Material Editör bölümü, komut çubuğu üzerinde Render Scene düğmesinin solundaki, üzerinde renkli toplar bulunan düğmeye basılarak açılır. Material Editör penceresi de standart komut panellerinde olduğu gibi panellerden ve açılıp kapanabilen bölümlerden oluşur. Materyallerin atılmasından sonra biped objesi seçilir ve sahneye yerleştirilir. Biped, anahtar kare, hareket yakalama ve ayak izi temelli canlandırma sistemidir. 3D Studio Max ile oluşturulacak olan karakter canlandırmaları için hiyerarşik yapısı tanımlı parametrik bir iskelet oluşturur [80].



Şekil 3.25. Biped objesinin seçilmesi ve sahneye yerleştirilmesi

Bir karaktere biped ile kemik ve deri sistemi Şekil 3.25'deki gibi oluşturulur. Rigleme sürecini iyi anlamak ve değerlendirmek gerekir. Modelin, modelleniş şekli, modelin hatları ve topolojisi riglemede çok şey fark ettirir. Yanlış modellenmiş bir karakterin riglenmesi sırasında yanlış sonuçlar ortaya çıkar (vertex hataları). Mesela 2 parmak arasındaki mesafenin yakın olması durumunda 2 kemiğin etki alanı birbirini karşılıklı etkiler. Model canlandırılacaksa canlandırmaya yönelik bir modelleme süreci izlenmelidir.



Şekil 3.26. Biped'in modele uygun olarak yerleştirilmesi

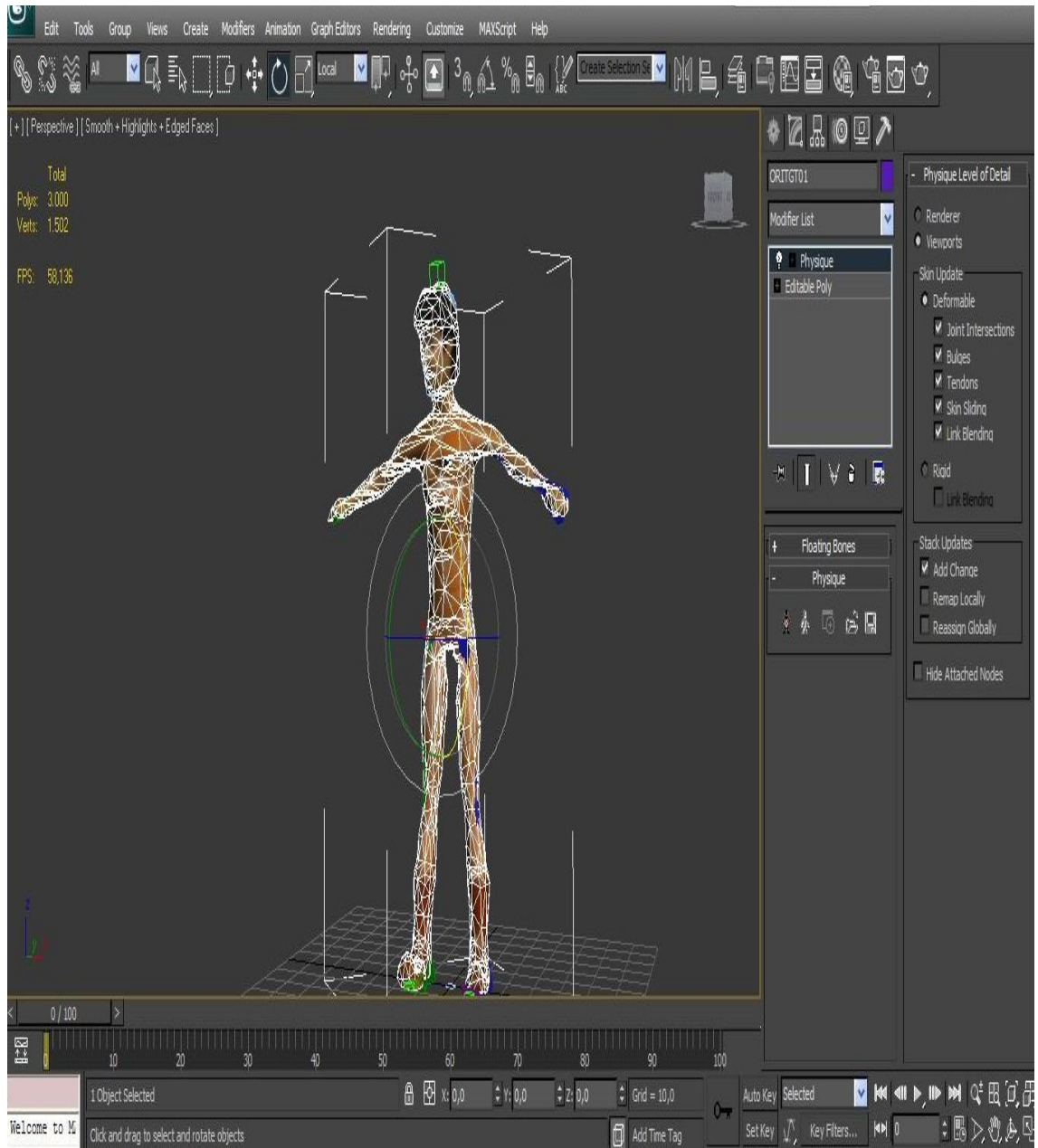
Şekil 3.26'da Biped'in modele uygun olarak hizalandırılmasında, biped karaktere uygun boyutlarda yaratılmalıdır. Biped'in bütün bacakları, kolları, ayakları karakterin bacakları, kolları ve ayakları ile eşleştirilmelidir. Biped yerleştirilirken gerekli hizalamalar yapılmalıdır. Hizalamada genel olarak Scale, Move ve Rotate komutları

kullanılmaktadır. Nesnelerin uzayda şekil ve pozisyon değiştirmesine transformasyon denir. 3D Studio Max'ta nesnenin pozisyonunu değiştiren Move (hareket ettirme), nesnenin oryantasyonunu (dönme açısını) değiştiren Rotate (döndür), nesnenin boyutlarını değiştiren Scale (boyutlandır) olmak üzere üç temel transformasyon biçimi vardır. Select And Move komutu, nesneyi hareket ettirmek için, Select And Rotate komutu, nesneyi döndürmek için, Select And Scale komutu nesneyi boyutlandırmak için kullanılır [80].

Physique Modifier, Biped veya 3D Studio Max' in iskelet sistemi ile canlandırılacak karakterin deri modelinin kas, doku ve tendon hareketlerini detaylı bir şekilde düzenlemede kullanılmaktadır. Physique Modifier, karakter iskeleti ve model arasındaki bağlantıyı hacimsel envelope'lar ile tanımlamaktadır. Ayrıca, Physique Modifier modelin yüzeyinde yapılan detaylandırma ve değişikliklerden etkilenmeden canlandırmanın iskeletten modele aktarılmasını sağlar [80].

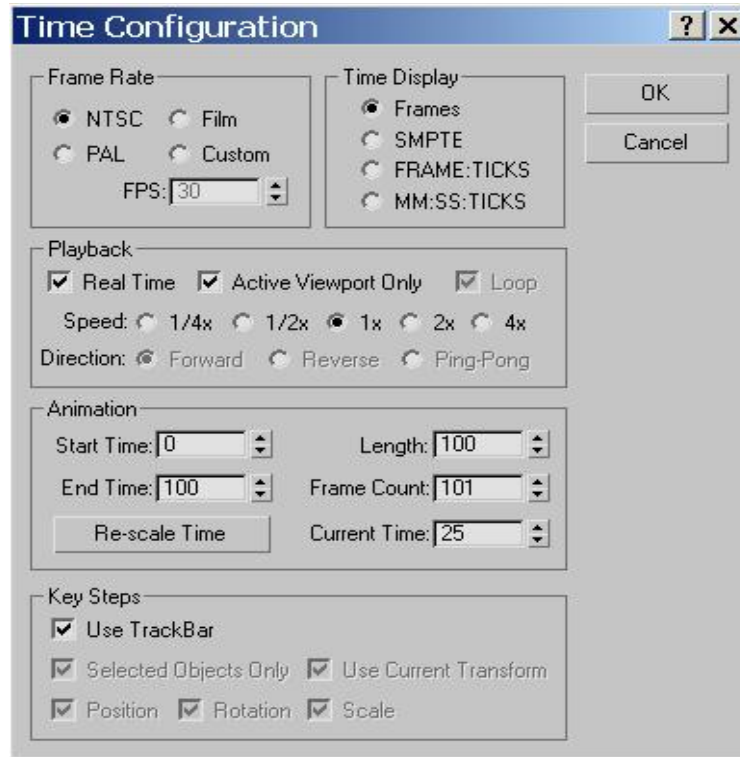
Modelin riglenmesinin tamamlanması için Şekil 3.27'deki Physique Modifier kullanılır. Modify Panel Sekmesinden Physique modifier'ı seçilmektedir. Bu aşamada kemiklerin etki alanlarının birbirini etkilememiş olması ortaya çıkabilecek deformasyonları önlemektedir. Bu sebeple karakter iskeleti ve model arasındaki bağlantının sağlanması bakımından hacimsel envelope'ların ayarlanması canlandırmanın kalitesi açısından önemlidir. Bu aşamanın tamamlanmasıyla model riglenmiş olur ve riglenmiş model physique modifier sekmesinden editlenir ve ince ayarlar yapılır.

Modelleme, görselleştirme ve canlandırma yazılımı olan 3D Studio Max platformunda, 3DSom sisteminden elde edilen modele malzeme uygulaması, ışıklandırma, kemik giydirme ve rigleme sürecinden sonra canlandırma gerçekleştirilmektedir. 3D Studio Max, hareket planının oluşturulmasını sağlayan bir canlandırma yöntemi olan Keyframing yöntemini kullanmaktadır. Nesnelerin, canlandırmanın belli karelerinde nerede bulunacağı tanımlanıp verilen anahtar karelerin arasındaki geçişler sağlandıktan sonra canlandırma işleminin gerçekleştirilmesi için Animate tuşuna basılır ve istenilen zamanlarda nesne hareket ettirilir.



Şekil 3.27. Physique Modifier’da modelin riglenmesi ve ince ayarların yapılması

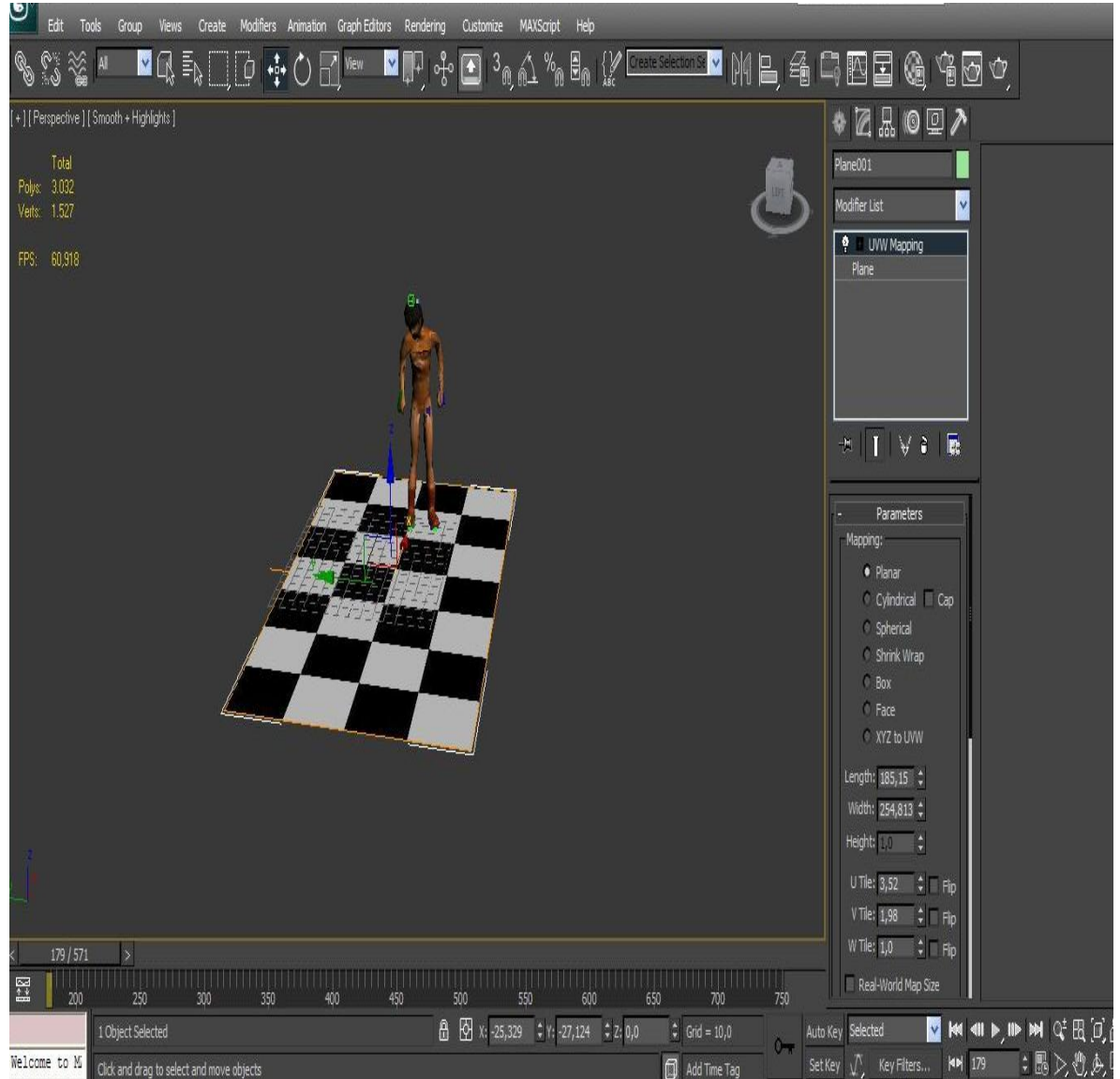
3D Studio Max zaman ölçüm sistemi olarak tikleri kullanır. Her tık bir saniyenin 1/4800’ü uzunluğundadır. 3D Studio Max’da canlandırdığınız herşey gerçek zamanlı olarak ve 1/4800 saniyelik zaman aralıklarında kaydedilir. Bir canlandırma yapıldığında, zamanın çalışırken gösterilme biçimini ve render ederken karelere bölünme biçimini belirlenebilir.



Şekil 3.28. Time Configuration ile zaman ayarlamaları

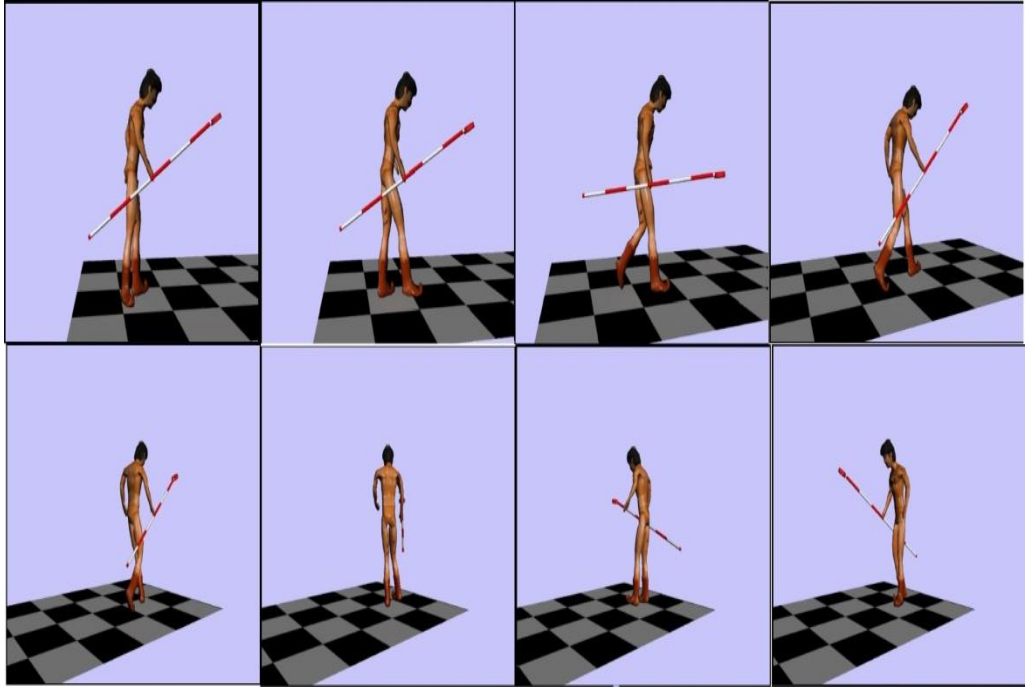
3.28’deki Time Configuration iletişim kutusu kullanılarak zamanın gösterilme biçimi ve kare başına düşen zaman ayarlanabilir. Time Configuration penceresi çeşitli kısımlardan oluşur. Frame Rate bölümü sonuç renderının kaç kare/saniye olacağını belirten kutucuklar içermektedir. NTSC 30 kare/saniye, PAL 25 kare/saniye, Film 24 kare/saniye oranında Render yapmaktadır. Aynı bölümdeki FPS kutusunu kullanarak, kare/saniye cinsinden istenilen değer girilebilir. Time display kısmı, zamanın görüntülenme biçimini çeşitli standartlara göre değiştirmektedir. Bunlardan Frames zamanı kareler olarak görüntülemektedir. Playback kısmı, canlandırmanın görüntü alanlarında oynarken esas alacağı bazı ayarları içermektedir. Bu bölümdeki Real Time kutucuğu işaretlenirse görüntü alanlarında canlandırmanın, yine bu pencerede belirtilen kare/saniye hızında oynatılması sağlanmaktadır. Animation kısmı, canlandırmanın süresi ile ilgili temel ayarlardır. Start Time, canlandırmanın aktif zaman aralığının başlangıç karesini belirlemektedir. End Time, canlandırmanın aktif zaman aralığının bitiş karesini belirlemektedir. Length, aktif zaman aralığının uzunluğudur. Current Time, sahnede üzerinde bulunan kareyi ifade etmektedir [80]. Motion sekmesinden Xsens Moven Hareket Yakalama Sistemi ile elde edilmiş “.bvh” ya da “.bip” uzantılı hareket dosyası seçilir. Üç boyutlu grafik uygulamalarında üç boyutlu nesne modeli,

gerçekçi ışıklandırma parametreleri ve nesne doku kaplama parametreleri tanımlandıktan sonra gerçekçi görünümün hesaplanması işlemine render işlemi olarak adlandırılır. Gerekli hizalamalar yapılır ve Şekil 3.29'daki gibi render alınır.



Şekil 3.29. Render üretimi ve canlandırma

Render işlemi tamamlanmış ve video formatında kaydedilmiş uygulamaya ait görüntü kareleri Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Canlandırılmış modele ait görüntü kareleri

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

“Sanal Model Ölçme ve Canlandırma” isimli tez çalışmasında, pasif 3 boyutlu ölçme tekniklerinden olan, siluet tabanlı ölçme yöntemi ve inersiyal tabanlı hareket yakalama birimi tanıtılmış, bu yöntemlerle elde edilmiş 3B model ve hareket verileri 3D Studio Max yazılım platformunda işlenerek modelin animasyon olarak canlandırılması gerçekleştirilmiştir.

Üç boyutlu modellerinin üretimi için geliştirilmiş çok sayıda donanım bulunmaktadır ancak bu donanımlar genel olarak yüksek maliyet ve uzmanlık gerektirmektedir. Bu bakımdan herhangi bir objenin üç boyutlu modellerini hızlı, ucuz bir şekilde üretmesi ve rakip teknolojilere göre daha az teknik beceri ve daha ucuz donanım imkânı sunması açısından 3DSom yazılımı önem kazanmaktadır. Bu sistemde cismin geometrik detaylarının elde edilmesi görüntü sayısı ile orantılı olduğundan kullanılan görüntü sayısının artırılması nesnenin 3B modelin kalitesi açısından önemlidir. Ayrıca siluetlerin hassas bir biçimde çıkarılması ve siluetlerin kesişiminde elde edilen görsel zarfın doğruluğu modelin kalitesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar görsel olarak yüksek kalitede olmasına karşın görsel zarf yöntemi, nesneyi tam olarak kuşatamamakta ve iç bükey yüzeydeki ayrıntıları elde edememektedir. Ayrıca endüstriyel ürün tasarımı, sanal müze tasarımı gibi alanlarda uygulanabildiği gibi daha çok görsel ve düşük doğruluk isteyen 3B ölçmelerde ve hareketli ve durağan nesnelerin modellenmesinde de kullanım olanağı bulmaktadır.

Son yıllarda gelişmekte olan animasyon sektörü ve sanal gerçeklik uygulamalarında, en çok zaman harcanılan bölüm gerçekçi hareketlerinin elde edilmesi ve modelin bu hareket verileriyle canlandırılmasıdır. Model ve mekan tasarımları bir defa yapıldıktan

sonra tüm iş boyunca kullanılabilirken, hareket ve canlandırma işlemleri her sahne için farklı olarak tekrar yapılmaktadır. Tanıtılan inersiyal tabanlı hareket yakalama ünitesi, bu hareket verilerini gerçek insan hareketlerini ölçerek birebir elde etmektedir. 3B modelin kemik giydirme aşamasından sonra bu hareket verileriyle doğrudan canlandırma gerçekleştirilebilmektedir.

Harita Mühendisliği disiplini, temelinde her türlü konumsal verinin ölçümü, hesaplanması, analiz edilmesi ve görselleştirilmesini konu alan bir mühendislik dalıdır. Hareket yakalama tekniklerinde, eklem noktalarının konumsal değişiklikleri takip edilmekte ve aslında konumsal bir ölçme yapılmaktadır. Bu nedenle hareket yakalama teknolojilerini, harita mühendisliği disiplini içerisinde ele almak gerekmektedir. Harita Mühendisliği sadece konumsal arazi ölçmeleri değil gerçek dünya nesnelerinin herhangi konum veya model ölçmelerine ait hesaplamalarını kapsamaktadır. Tez kapsamında yapılan çalışmalar, klasik harita mühendisliği uygulamaları yanında, disiplinler arası yapılabilecek birçok çalışmanın harita mühendisliği konuları içerisinde kaldığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Grum, M., Bor, A., 2008. Multiple Image Disparity Correction for Scene Representation, pp. 209-212. IEEE International Conference on Image Processing, October 12-15, 2008, San Diego, California, USA.
2. Lowe, D.G., 2004. Distinctive Image Features from Scale Invariant Keypoints. **International Journal of Computer Vision**, 60(2): 91-110.
3. Jang, W.S., Ho, Y.S., 2010. 3-D Object Reconstruction from Multiple 2-D Images. **3DR Review**, 02.1-5.
4. Yılmaz U., 2003. İnternette üçüncü boyut ve üç boyutlu model üretimi, **TMMOB EMO Dergisi**, 418: 52-55.
5. Richards, J.G., 1999. The measurement of human motion: a comparison of commercially available systems. **Human Movement Science**, 18 (5): 589-602.
6. Figueroa, P.J., Leite, N.J., Barros, M.L., 2003. A flexible software for tracking of markers used in human motion Analysis. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, 72(2):155-165.
7. Vikipedi İnternet Ansiklopedisi (Web Sayfası: [http:// tr.wikipedia.org/ wiki /kalibrasyon](http://tr.wikipedia.org/wiki/kalibrasyon), (Erişim Tarihi: Ağustos 2011))
8. Beşdok, E., Kasap, B., 2006. 3D Nesne modellemeye yönelik lazerli bir tarayıcı sistemin tasarımı ve gerçekleştirilmesi, Eleco'2006, Elektrik – Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı Bildirileri, Aralık 6-10, Bursa.
9. Kuzu, Y., 2004. Volumetric Object Reconstruction by Means of Photogrammetry, Faculty of Civil Engineering an Applied Geosciences, Division of Photogrammetry and Cartography, Berlin Tecnical University, Ph.D Thesis, Germany, 131pp.
10. Beşdok, E., Özkan, C., Palancıoğlu, H.M., 2006. Fotogrametrik siluet imgelerinden 3d model geri-çatımı, Akademik Bilişim & Bilgi Teknolojileri Kongresi, Şubat 9-11, 2006, Denizli.
11. Brown, D.C., 1974. Evolution, application and potential of the bundle method of photogrammetric triangulation, pp. 69, Proc. ISP Symposium.

12. Faig,W., 1975. Calibration of close range photogrammetry systems: mathematical formulation. **Photogrammetric Engineering and Remote sensing**, 41(12): 1479- 1486.
13. Tsai,R.Y., 1986. An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision,pp. 364-374, Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami Beach, Florida, USA.
14. Faugeras, O.D.,1993. Three dimensional Computer Vision, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts,USA,663 pp.
15. Kumar,R.,Hanson A., 1994. *Robust Methods for Estimating Pose and a Sensitivity Analysis*. **CVGIP-Image Understanding**, 60(3): 313-342.
16. Fraser, C.S.,1997. Digital camera self calibration. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 52(4): 149-159.
17. Heikkila,J.,Silven,O., 1997. A four-step camera calibration procedure with implicit image correction. pp. 1106, In Proceedings of the 1997 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97), June 17-19, 1997, San Juan, Puerto Rico.
18. Fitzgibbon, A.W.,Zisserman, A.,1998. *Automatic 3D Model Acquisition and Generation of New Images from Video Sequence*,pp. 1261-1269,In Proceedings of European Signal Processing conference (EUSIPCO '98), Rhodes, Greece.
19. Pollefeys,M.,2000.*3D Modelling from Images*, Tutorial notes, in conjunction with ECCV 2000, Dublin, Ireland.
20. Weng,J.,Cohen,P., Herniou,M.,1992. Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 14(10): 965-980.
21. Zhang,Z.,2008.A flexible new technique for camera calibration. Microsoft Research, Microsoft Corporation, Technical Report, MSR-TR-98-71.
22. Remondino,F., Fraser,C., 2006. Digital camera calibration methods: considerations and comparisons, pp. 25-27 IAPRS, Vol. XXXVI, Dresden, Germany.
23. Heikkila,J., 1997. Accurate Camera Calibration and Feature Based 3-d Reconstruction From Monocular Image Sequences, Infotech Oulu and

Department of Electrical Engineering, University of Oulu, Ph.D. Thesis, Finland, 129 pp.

24. Faugeras, O.D., Toscani, G., 1986. The calibration problem for stereo, pp. 15-20, In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, USA.
25. Gorsky, W., Tamburino, L., 1987. A Unified Approach to the Linear Camera Calibration Model, pp. 511-515, Proceedings IEEE 1st International Conference on Computer Vision, London, England.
26. Gremban, K., Thorpe, C., Kanade, T., 1988. Geometric camera calibration using systems of linear equations, pp. 562-567, IEEE Conference on Robotics and Automation, Philadelphia, PA, USA.
27. Hall, E.L., Tio J.B.K., Mc Pherson C.A., Sadjadi F.A., 1982. Measuring curved surfaces for robot vision, **Computer Journal** 15: 42-54.
28. Ito, M., 1991. Robot vision modelling – camera modelling and camera calibration, **Adv. Robotics** 5:321-335.
29. Tsai, R.Y., 1987. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3d machine vision metrology using off-the-shelf tv cameras and lenses, **IEEE Journal of Robotics and Automation**, RA-3(4): 323-344.
30. Salvi, J., et al., 2002. A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation, **Journal of Pattern Recognition**, 35: 1617-1635.
31. Weng, J., Cohen, P., Herniou, M., 1990. Calibration of stereo cameras using a nonlinear distortion model. pp. 246-253, In Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition, Vol. 1, June 16-21, Atlantic City.
32. Brown, D.C., 1974. Evolution, application and potential of the bundle method of photogrammetric triangulation. pp. 69, Proc. ISP Symposium.
33. Wei G., Ma S., 1994. Implicit and explicit camera calibration: Theory and experiments. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Vol. 16(5): 469-480.
34. Swapna, P., 2009. The Question of Accuracy in Camera Calibration and a Novel Technique for Estimating Camera Geometry, Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland, M.Sc. Thesis, Newfoundland.

35. Abdel-Aziz, Y. I., Karara, H. M., 1971. Direct linear transformation into object Space coordinates in close-range photogrammetry. pp. 1-18, In Proceedings of Symposium on Close-Range Photogrammetry, Falls Church.
36. Bendeş, E., 2008. Kamera Kalibrasyonunda Yapay Zeka Tekniklerinin Uygulanması, Master Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 84 s.
37. Yılmaz, U., Hellwich, O., 2006. Kamera ayarları yapılmış görüntüler oluşturmak için bir araç, IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 17-19, 2006 Antalya.
38. http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/DIAS1/
39. Fua, P., 1997. From multiple stereo views to multiple 3d surfaces. **International Journal of Computer Vision**, 24(1):19–35.
40. Fua, P., Leclerc Y.G., 1995. Object-centered Surface reconstruction: Combining multi-image stereo and shading. **International Journal of Computer Vision**, 16(1):35–56.
41. Kass, M., Witkin, A., Terzopoulos D., 1988. Snakes: Active contour models. **International Journal of Computer Vision**, 1:321–332.
42. Zhang, R., Tsai, P.S., Cryer, J.E., Shah, M., 1999. Shape from Shading: A Survey, **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 21(8):690-706.
43. Horn, B.K.P., 1970. Shape From Shading: A New Method for Obtaining the Shape of a Smooth Opaque Object from One View, Dept of EE, MIT, Ph.D. Thesis, USA, 232 pp.
44. Jebara, T., Azarbayejani, A., Pentland, A., 1999. 3D Structure from 2D Motion. **IEEE Signal Processing Magazine**, 16(3): 66-84.
45. Tomasi, C., Kanade, T., 1992. Shape and motion from image streams under orthography: A factorization method. **International Journal of Computer Vision**, 9(2):137-154.
46. Szeliski, R. and Kang, S. B., 1994. Recovering 3D shape and motion from image streams using nonlinear least squares, **Journal of Visual Communication and Image Representation**, 5(1):10-28.
47. Baumgart, B.G., 1974. Geometric Modeling for Computer Vision, Stanford University, PhD thesis, USA, 144pp.

48. Baker,S.,Cheung ,K.,Kanade, T.,2005. Shape From Silhouette Across Time Part I: Theory and Algorithms, **International Journal of Computer Vision**, 62(3):221–247.
49. Martin,W.,Aggarwal ,N., 1983. Volumetric Descriptions Of Objects From Multiple Views. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 5(2): 150–158.
50. Hatzitheodour, M.,Kender, M., 1988. An Optimal Algorithm For The Derivation Of Shape From Shadows. pp 486–491, Proc. of Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, AnnArbor.
51. Potmesil,M.,1987. Generating octree models of 3D objects from their silhouettes in a sequence of images. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**,40(1):1–20.
52. Ahuja,N.,Veenstr, J.,1989. Generating octrees from Object silhouettes in orthographic views. **IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 11(2):137–149.
53. Noborio,H., Fukuda,S., Arimoto,S.,1988. Construction of the octree approximating three dimensional objects by using Multiple views, **IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 10(6):769–782.
54. Shanmukh, K., Pujari, A.,1991.Volume intersection with optimal set of directions.**Pattern Recognition Letter**, 12(3):165–170.
55. Savarese, S.,Rushmeier, H., Bernardini, F., Perona, P., 2001.Shadow Carving, Proc. of the Ninth IEEE Interational Conference on Computer Vision, Vancouver, CA.
56. Olsson, K.,Persson, T., 2001.Shape From Silhouette Scanner, University of Linkoping, Master's thesis ,Sweden,48 pp.
57. Cheung, K., 2003.Visual Hull Construction, Alignment and Refinement for Human Kinetic Modelling, Motion Tracking and Rendering, Carnegie Mellon University, PhD thesis, USA.
58. Matusik, W.,Buehler, C., Mc Millan, L.,2001. Polyhedral Visual hulls for real time rendering, pp 115– 125 , Proceedings of Twelfth Eurographics Workshop on Rendering, London,England.

59. Hwang,Y., Kim, J., Kweon, I. 2005. Silhouette Extraction for Visual Hull Reconstruction, pp 39-42, IAPR Conference on Machine Vision Applications, Tsukuba Science City, Japan.
60. Ladikos A., Benhimane,S.,Navab,N., 2008, Efficient Visual Hull Computation for Real-Time 3-D Reconstruction using CUDA, pp 1-8 ,IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Anchorage, AK, USA.
61. Tosovic,S., Sablatnig, R., Kampel M., 2002. On Combining Shape from Silhouette and Shape from Structured Light, pp 108-118 , *The 7th Computer Vision Winter Workshop*, February 2002 ,Bad Aussee, Austria.
62. Esteban, C.,Schmitt, F., 2002. Multi-Stereo 3D Object Reconstruction, pp 159-166, International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, Padova, Italy.
63. Durupinar, F., Voxel-Based Object Reconstruction from Multiple Camera Views.
64. Wolf, P.,Dewitt, B., 2000. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, Mc Graw Hills Comp, USA.
65. Shapiro, L.G.,Stockman, G.C.,2001. Computer Vision, Prentice Hall Inc. USA.
66. Laurentini,A.,1994. The Visual hull concept for silhouette based image understanding, **IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence**, 16(2): 150-162.
67. Seitz, S.,Dyer,C., 1997. Photorealistic Scene Reconstruction by voxel coloring, pp.1067-1073, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June, 1997,San Juan, Puerto Rico.
68. Kutulakos, K. N.,Seitz, K. N.,1999, A theory of shape by Space carving, pp. 307- 314, IEEE Conference on Computer Vision, 1999, Kerkyra, Greece.
69. Kim, H., Kweon, I., 2004, Probabilistic optimization-based Approach for the Volumetric full-view Scene recovery", **International Journal of Computer Vision**, Accepted.
70. Kim,J.S.,Hwang,Y., Kweon,I., 2005. Silhouette Extraction for Visual Hull Reconstruction, in Proceedings of the IAPR workshop on Machine Vision Applications (MVA),May 16-18, Tsukuba Science City, Japan.

71. Vikipedi İnternet Ansiklopedisi
(Web Sayfası:http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_Capture) (Erişim Tarihi: Temmuz 2011)
72. Kurban, T. and Beşdok, E., 2008. İnersiyal Algılayıcı Tabanlı Hareket Yakalama, Elektrik -Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ELECO 2008, 26-30 Kasım 2008, Bursa.
73. Krist,J., Melliush,M., Kehl,L., Crouch,D., 1990. Technical description of the OPTOTRACK 3D motion measurement system, pp. 23-/39, Gangbildanalyse, Mecke Druckund Verlag, Duderstad, Germany.
74. Macellari,V.,1983.CoSTEL/a computer peripheral Remote sensing device for 3-dimensional monitoring of human motion, **Journal of Medical and Biological Engineering and Computer** ,21 (3): 311-318.
75. Ferrigno, G.,Pedotti,A.,1985. ELITE: a Digital dedicated hardware system for movement Analysis via real-time TV Signal processing, **IEEE Transaction on Biomedical Engineering** 32 (11): 943-949.
76. Josefsson,T.,Nordh E.,Eriksson,P.,1996. A flexible high precision video system for digital recording of motor acts through light weight reflex markers, **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, 49:119-129.
77. <http://www.modsimmer.metu.edu.tr/>
78. XSens Moven Kullanım Kılavuzu
79. Roetenberg, D.,Luinge, H., Slycke, P., 2009. Moven: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors”, *Xsens Technologies*, 2009.
80. Kanbur,N.,1998.3D Studio Max.Pusula Yayıncılık ve İletişim Ltd,İstanbul,830s.
81. Boehm,W.,Müler A.,1999. On de Casteljau’s Algorithm, *Computer Aided Design Elsevier*, 16: 587-605.
82. Wolberg,G., 1998. Image morphing: a survey, *The Visual Computer*, Springer link, Berlin, 14(8-9):360-372.
- 83.Aslantaş,V.1997. New Techniques For Determining Depth From Defocusing, *University of Wales, Ph.D Thesis* , United Kingdom.
84. Prewitt,J.M.S.,1970.Object Enhancement and Extraction, in *Picture Processing and Psychopictorics*, B. S. Lipkin and A. Rosenfeld, eds., AcademicPress, 75–150,New York.

85. Köylü, F.,2006. 2 boyutlu nesnelere bilgisayar destekli desen kaplama, Master Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri,86 s.
86. Güdükbay,U.,Atılım,Ç., 2006. "Canlandırma" Türkiye Bilişim Ansiklopedisi, pp.287-290,Edited by: T.Ören,T.Öney,ve R.Çölkesen, Papatya Yayıncılık.
87. Parent,R.,2001. Computer Animation: Algorithms and Techniques. Morgan-Kaufmann.

ÖZGEÇMİŞ

Emre TERCAN 1987 yılında Burdur’da doğdu. 2005 yılında Burdur Cumhuriyet Lisesi’nde lise öğrenimini tamamladı. 2005’te kazandığı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümünden 2009 yılında mezun oldu. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 2010-2011 yılları arasında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Şu an Antalya Karayolları 13.Bölge Müdürlüğü Etüt Proje ve Çevre Başmühendisliği bölümünde Harita Mühendisi olarak çalışmaktadır.

Adres: Karayolları 13.Bölge Müdürlüğü

Etüt Proje ve Çevre Başmühendisliği

07108 - ANTALYA

Telefon : 0(505) 586 6282

e-posta: emretercan@windowslive.com