

**KINECT ALGILAYICI KULLANARAK
İNSAN DAVRANIŞLARININ İNSANSI ROBOTLARA
ÖĞRETİLMESİ**

Emrehan YAVŞAN

**Yüksek Lisans Tezi
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ayşegül UÇAR**

AĞUSTOS - 2014

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KINECT ALGILAYICI KULLANARAK İNSAN DAVRANIŞLARININ İNSANSI
ROBOTLARA ÖĞRETİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrehan YAVŞAN

(121134103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Ağustos 2014

Tezin Savunulduğu Tarih: 4 Eylül 2014

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ayşegül UÇAR (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Oğuz YAKUT (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇINAR (F.Ü)

AĞUSTOS - 2014

ÖNSÖZ

Lisans ve özellikle yüksek lisans eğitimimin her aşamasında yanımda olan, her koşulda yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, beraber çalışmaktan dolayı çok memnun olduğum ve hep olacağım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ayşegül UÇAR'a bana göstermiş oluğu ilgi, hoşgörü ve sabrın yanı sıra duymuş olduğu güven için de çok teşekkür ederim.

Uygulama çalışmaları için gerekli laboratuvar şartlarının sağlanması ve gerçekleştirilmesi aşamasında beni yalnız bırakmayan sevgili dostlarım, lisans arkadaşlarım ve kıymetli hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi bu dönemde de iyi niyet ve desteklerini her zaman hissettiğim aile bireylerime, oğulları ve abisi olmaktan daima gurur duyduğum babam, Nedim YAVŞAN ve annem, Fatma YAVŞAN ile çok sevdiğim kardeşim Hasan YAVŞAN'a sonsuz teşekkürler.

Emrehan YAVŞAN

ELAZIĞ - 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. KINECT.....	4
2.1. Xbox 360 Kinect Algılayıcının Yapısı ve Çalışma Mantığı.....	5
2.2. İskelet İzleme.....	8
3. NAO ROBOT.....	10
3.1. Kullanım Alanları ve Yapılan Çalışmalar.....	11
3.2. Kinematik Yapı.....	12
3.3. Yazılım Altyapısı.....	13
4. İNSAN KOL HAREKETLERİNİN TAKLİT EDİLMESİ.....	15
4.1. Vektörlerin Analitik ve Geometrik İncelenmesi.....	15
4.1.1. Vektörün Büyüklüğü.....	17
4.1.2. Birim Vektör.....	17
4.1.3. Vektör Doğrultu Açıları.....	17
4.1.4. Konum Vektörü.....	19
4.2. Vektörel İşlemler.....	21
4.2.1. Skaler Çarpım.....	21
4.2.2. İki Vektör Arasındaki Açık.....	22
4.2.3. Vektörel Çarpım.....	23
4.3. Kol Eklem Açılarının Hesabı Ve NAO Robota Aktarımı.....	24
5. YAPAY ÖĞRENME ALGORTİMALARI.....	31
5.1. Yapay Sinir Ağları.....	31

	<u>Sayfa No</u>
5.1.1. Tek Katmanlı YSA.....	32
5.1.2. Çok Katmanlı YSA.....	32
5.1.3. Geriye Yayılım Yöntemi.....	33
5.1.4. Geriye Yayılım ile Ağırlıkların Yenilenmesi.....	34
5.2. Aşırı Öğrenme Makinaları.....	36
6. UYGULAMALAR.....	39
6.1. Taklit Uygulaması Sonuç ve Önerileri.....	39
6.2. İnsan Hareketlerini Tanıma Uygulaması Sonuç ve Önerileri.....	42
7. SONUÇLAR.....	46
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ÖZET

Bu tezde, insan hareketlerinin tanınması ve insansı bir robot üzerinde gerçekleştirilmesi için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Sunulan algoritma, gerçek zamanda üst vücut hareketlerine ilişkin insan hareketlerinin tanınması ve taklit edilmesiyle ilgilidir. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, eş zamanlı bir taklit sistemi gerçekleştirilmiştir. Xbox 360 Kinect algılayıcıdan elde edilen 3 boyutlu (3B) insan iskelet eklem pozisyonları, bir dönüşüm algoritması sayesinde robot eklem açılarına dönüştürülmekte ve sonrasında bu açısal veriler, NAO insansı robota aktarılmaktadır. Bu kısmın sonunda, üst vücut insan hareketleri, NAO robot tarafından eş zamanlı olarak başarılı bir şekilde taklit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, insan üst vücut hareketleri için hareket tanıma algoritması uygulanmıştır. Kullanıcılardan eklem açılarını elde etmek için çalışmanın birinci kısmındaki dönüşüm algoritması kullanılmıştır. Böylece hareket veri seti oluşturulmuştur. Her hareket, farklı vücut yapısına sahip 9 kullanıcı tarafından 10 kez yapılmıştır. Kullanıcılardan toplanan eklem açıları hareketlere göre 6 sınıfa bölünmüştür. Eklem açılarıyla tanımlı insan hareketlerini sınıflandırmak için Aşırı Öğrenme Makinaları (AÖM) kullanılmıştır. Ayrıca, karşılaştırmak amacıyla ileri beslemeli bir Yapay Sinir Ağı (YSA) üzerinden Geriye Yayılım Algoritması (GYA) kullanılmıştır. Karşılaştırmalı sonuçlar, AÖM'nin, daha iyi bir hareket tanıma performansı ürettiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Xbox 360 Kinect, NAO insansı robot, İnsan hareketlerinin tanınması.

SUMMARY

TEACHING HUMAN GESTURES TO HUMANOID ROBOTS BY USING KINECT SENSOR

In this thesis, a novel algorithm is improved to recognize human actions and reproduction them on a humanoid robot. The proposed algorithm concerns to the human action recognition and imitation relating to upper body in real time. The study consists of two parts. In the first part, the real time imitation system is realized. The 3D human skeleton joint positions obtained from Xbox 360 Kinect are transformed to robot joint angle data via a transformation algorithm and then these angular data are transferred to NAO humanoid robot. At the end of this part, the upper body human actions are successfully imitated by NAO humanoid robot in real – time.

In the second part of the study, the human action recognition algorithm is implemented for human upper body gestures. The transformation algorithm in the first part of study is used for obtained joint angles from users. So a human action data – set is created. Each action is performed 10 times by nine users with different body builds. The collected joint angles from users are divided into six classes according to the actions. Extreme Learning Machines (ELMs) are used to classify human actions defined by joint angles. Additionally, the Feed-Forward Neural Networks (FNNs) with back propagation algorithm is used for the comparison aim. According to the comparative results, ELMs produce a good human action recognition performance.

Keywords: Xbox 360 Kinect, NAO humanoid robot, Human action recognition.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Xbox 360 Kinect ve veri/enerji kablosu.....	4
Şekil 2.2. Kinect algılayıcının farklı kullanım alanları.....	5
Şekil 2.3. Temel donanım bileşenleri.....	6
Şekil 2.4. Derinlik algılayıcı sistem.....	6
Şekil 2.5. Kinect for Windows SDK 1.8 için iskelet yapısı.....	8
Şekil 2.6. Kinect koordinat takımı.....	9
Şekil 3.1. NAO robot.....	10
Şekil 3.2. NAO robotun V4.0 sürümü.....	11
Şekil 3.3. NAO robotun T14 modeli.....	11
Şekil 3.4. NAO robotun kinematik yapısı.....	12
Şekil 3.5. NAO robotun koordinat eksenleri.....	13
Şekil 3.6. Gömülü ve masaüstü yazılımlar.....	14
Şekil 3.7. NAO robot için mevcut SDK'lar.....	14
Şekil 4.1. Vektör gösterimi.....	15
Şekil 4.2. Kartezyen vektör bileşenleri.....	16
Şekil 4.3. Doğrultu Açıları.....	18
Şekil 4.4. Konum vektörü.....	19
Şekil 4.5. İki nokta arasındaki vektör.....	19
Şekil 4.6. İki nokta arasındaki vektör tanımı.....	20
Şekil 4.7. İç çarpımın geometrik ifadesi.....	21
Şekil 4.8. İki vektör arasındaki açı.....	22
Şekil 4.9. Vektörel çarpım.....	23
Şekil 4.10. Kinect eksen takımı ve iskelet modeli.....	24
Şekil 4.11. Gövde – Uzay eksen takımı.....	25
Şekil 4.12. Referans alınan gövdeler.....	26
Şekil 4.13. Vektör Dönüşümü.....	28
Şekil 5.1. Standart YSA modeli.....	31
Şekil 5.2. Tek katmanlı YSA.....	32

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 5.3. Çok katmanlı YSA.....	33
Şekil 5.4. Çok katmanlı YSA modeli için geriye yayılım algoritması.....	34
Şekil 5.5. AÖM yapısı.....	38
Şekil 6.1. Uygulama arayüzü.....	49
Şekil 6.2. Açık değerlerine karşılık gelen hareket yönleri.....	40
Şekil 6.3. Uygulama arayüzleri.....	41
Şekil 6.4. Hareket numara ve isimleri.....	42
Şekil 6.5. Gizli nöron sayısının belirlenmesi.....	43
Şekil 6.6. Başarım oranları sütun grafiği.....	43

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Xbox 360 Kinect algılayıcının temel özellikleri.....	8
Tablo 2.2. Eklem nokta isim ve numaraları.....	9
Tablo 3.1. NAO robotun temel özellikler.....	10
Tablo 5.1. Aktivasyon fonksiyonları.....	33
Tablo 6.1. Açık Sınırları.....	40
Tablo 6.2. Açıkların tanımladığı hareketler.....	41
Tablo 6.3. Öğrenme Süreleri.....	44
Tablo 6.4. AÖM'nin test veri tabanı üzerindeki performansı.....	44
Tablo 6.5. GYA'nın test veri tabanı üzerindeki performansı.....	44
Ek Tablo 1. Taklit uygulamasında kullanılan eklem açıları.....	51
Ek Tablo 2. Sınıflandırma uygulaması için A kullanıcısından alınan eklem açıları..	53
Ek Tablo 3. Sınıflandırma uygulaması için B kullanıcısından alınan eklem açıları..	55
Ek Tablo 4. Sınıflandırma uygulaması için E kullanıcısından alınan eklem açıları..	57
Ek Tablo 5. Sınıflandırma uygulaması için F kullanıcısından alınan eklem açıları..	59
Ek Tablo 6. Sınıflandırma uygulaması için H kullanıcısından alınan eklem açıları..	61
Ek Tablo 7. Sınıflandırma uygulaması için O kullanıcısından alınan eklem açıları..	63
Ek Tablo 8. Sınıflandırma uygulaması için T kullanıcısından alınan eklem açıları..	65
Ek Tablo 9. Sınıflandırma uygulaması için U kullanıcısından alınan eklem açıları..	67
Ek Tablo 10. Sınıflandırma uygulaması için Ç kullanıcısından alınan eklem açıları	69

KISALTMALAR

AÖM	: Aşırı Öğrenme Makinaları
DVM	: Destek Vektör Makinaları
GYA	: Geriye Yayılım Algoritması
RGB	: Kırmızı, yeşil, mavi renk kamerası
SD	: Serbestlik Derecesi
SDK	: Yazılım Geliştirme Kiti
YSA	: Yapay Sinir Ağı
3B	: 3 Boyutlu

1. GİRİŞ

Yakın geçmişe kadar robotların çoğu, fabrikalardaki hız, hassasiyet ve güç gerektiren görevleri yapmak amacıyla insanların yerine kullanılan, sadece bakım ve onarımı gerektiğinde insanlar ile etkileşimlerinin söz konusu olduğu makinalar olarak düşünülmektedir. Toplumun çoğunda yaygın olan bu düşünce yapısı, robotların ve uygulama alanlarının genişlemesiyle beraber değişmiştir. Mobil robotların gelişmesi, insan robot etkileşimine yeni bir boyut kazandırmış ve robotların insanlarla yaşaması sıradan hale gelmeye başlamıştır. Bunların yanında giderek bizlere benzemeye başlayan insansı robotların artması, insan robot iş birliğini ve buna bağlı olarak birlikte çalışma alanlarını da artırmıştır.

Artık günlük hayatlarımıza daha kolay kabul ettiğimiz robotların, çalışmalarımızdaki varlığı kaçınılmaz bir hal almaktadır. Farklı çalışma alanları düşünüldüğünde robotların, sağlık hizmetlerinde, rehabilitasyon çalışmaları ve terapilerde yön göstermesi, ofislerde asistanlık yapması veya ev işleri ile ilgilenmesi, bazen de bizleri eğlendiren birer arkadaş gibi davranması söz konusudur. Tüm bu uygulamalarda, robotların insanlarla etkileşimleri değişik seviyelerde olacak ve onlar, insanların karmaşık davranışlarını anlamak zorunda kalacaklardır. Bu bakış açısına göre insanlarla etkileşebilecek robotların geliştirilebilmesi, öğrenme ve taklit etmeyi, doğal diller ve mimiklerle iletişimi, duyguları ve etkileştiği bireyi tanımaya yönelik tekniklerin kullanımını gerektirmektedir [1]. Özellikle insan hareketlerinin tanınması ve izlemesinde sıkça kullanılan bu tekniklere: Yapay Sinir Ağları (YSA'lar) [2], Destek Vektör Makinaları (DVM'ler) [3, 4] ve Aşırı Öğrenme Makinaları (AÖM'ler) [5-10] gibi yöntemler örnek olarak verilebilir. Tüm bu yöntemler arasında AÖM, hareket tanıma gösterdiği performans ve hız ile diğerlerinden bir adım öne çıkmaktadır [11].

İnsan hareketlerinin yapay zekâ teknikleriyle insansı bir robota öğretilmesinin amaçlandığı bu tez çalışmasında, ileri beslemeli tek gizli katmana sahip bir YSA modeli üzerinden GYA ve AÖM uygulanarak bir hareket tanıma algoritması ile üst vücut hareketleri için eş zamanlı bir taklit sistemi geliştirilmiştir. Hareket tanıma algoritması ve taklit sistemi için farklı vücut yapılarına sahip bireylerin vücut hareketlerinin takip edilmesi ve bu hareketlere ilişkin verilerin alınmasında, Xbox 360 Kinect algılayıcı kullanılmıştır. Microsoft tarafından geliştirilen bir hareket algılayıcısı olan Kinect,

kullanıcılarına kumandasız olarak oyun oynama imkânı sunmaktadır. Her ne kadar oyun oynamak amacıyla geliştirilmiş olsa da, sağlıktan robotiğe kadar birçok alanda kullanılmaktadır [12 - 15].

Sunulan taklit sisteminde kullanıcı üst vücut hareketlerinin eş zamanlı olarak taklit edilebilmesi için NAO insansı robot kullanılmıştır. Yüksek hareket kabiliyetine sahip NAO robot, farklı çalışma alanlarına uyarlanabilen modüler yapısı sayesinde araştırmacılar tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [16, 17].

Özel ihtiyacı bulunan bireylerin tıbbi ve sosyal gereksinimlerinin karşılanmasına yönelik çalışmalarda, kişilere yardımcı olmak amacıyla NAO robot ve Kinect algılayıcı ikilisinin tercih edildiği çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Manasrah A. A. [18], iyileşme sürecindeki hastalar için fizik tedavi alanında yaptığı çalışmasında Kinect algılayıcıyı, NAO insansı robotunu kontrol etmek amacıyla kullanmıştır. Manasrah A. A'nın aksine Franz S. ve arkadaşları [19], farklı Kinect eklem noktalarından oluşan gövde yapısını tercih ederek NAO robotun kontrol edildiği bir sistem sunmuşlardır. Ibrahim A. ve Adiprawita W. [20], Kinect algılayıcı vasıtasıyla NAO robotun üst kısmını kontrol etmek için ters kinematik model tabanlı bir algoritma ortaya koymuştur. Bu çalışmaya benzer bir şekilde NAO robotun öğrenmesiyle ilgili ters kinematik modelin kullanıldığı bir diğer çalışma, Mota E. ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [21]. Itauma I., Kivrak H. ve Kose H. [22], işitme engelli çocuklara işaret dilinin öğretilmesiyle ilgili devam eden bir projenin ürünü olarak, farklı öğrenme teknikleriyle NAO robotun insan üst vücut hareketlerini öğrenmesini amaçlayan, Kinect algılayıcının kullanıldığı bir çalışma yapmıştır. Guo M. ve arkadaşları [23], otistik çocukların, robotlarla daha kolay etkileşim kurabilmelerinden yola çıkarak, onların topluma kazandırılmaları amacıyla NAO robot ve Kinect algılayıcı ikilisinin kullanıldığı bir sistem geliştirmiştir. Michieletto S. ve arkadaşları yine aynı ikiliyi kullanarak, farklı teknikler ile yeni yeteneklerin insansı robotlara kazandırılması için bir çalışma gerçekleştirmiştir [24].

İnsan-robot etkileşimi ve hareketlerin robotlara, yapay zekâ teknikleriyle öğretilmesi konularındaki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülen bu tez çalışması, 7 bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde, hareket verilerinin alınmasında kullanılan Xbox 360 Kinect algılayıcı tanıtılarak, yapısı ve çalışma mantığı hakkında bilgi verilmektedir.

Üçüncü bölümde, NAO insansı robotun, teknik özellikleri ile kinematik yapısı ve yazılım altyapısı verilerek tanıtımı yapılmaktadır. Ayrıca kullanım alanları ve yapılan çalışmalara değinilmektedir.

Dördüncü bölümde, insan kol hareketlerinin taklit edilmesinde kullanılan yöntem, aşamalarıyla anlatılmaktadır. Burada Kinect algılayıcı vasıtasıyla kullanıcılardan elde edilen 3B eklem pozisyon verileri kullanılarak her bir vücut parçası birer vektör olarak ifade edilmektedir. Daha sonra vektör olarak düşünülen vücut parçaları arasındaki açılar hesaplanarak NAO insansı robota aktarılmaktadır.

Beşinci bölümde, insan hareketlerini tanıma uygulamasında kullanılan yapay öğrenme algoritmaları tanıtılmaktadır.

Altıncı bölümde, taklit ve insan hareketlerini tanıma uygulamalarına ait çalışma sonuçları, tablo ve şekiller üzerinden anlatılmakta, önerilere yer verilmektedir. Ayrıca hareket tanıma problemi için veri tabanının nasıl oluşturulduğu anlatılmaktadır.

Yedinci bölümde, yapılan çalışmanın kısa bir özeti yer almakta, çalışma sonuçları sözel olarak ifade edilmektedir.

2. KINECT

Kinect, Microsoft'un "You are the Controller" sloganıyla, Natal Projesi adı altında Xbox 360 oyun platformu için geliştirdiği bir hareket algılayıcısıdır. Bu sistem Nintendo Wii'de olduğu gibi bir kontrol çubuğuna veya kumandaya ihtiyaç duyulmadan, kullanıcıların oyun oynayabilmelerini sağlamaktadır. İlk olarak 4 Kasım 2010'da Kuzey Amerika'da, 2010'nun sonlarına doğru da ülkemizde satışa sunulmuştur. Kullanıcıların el, kol ve bacak hareketlerinin yanı sıra verdikleri sesli komutlarla da oyuncu karakterlerini yönlendirebilmelerine olanak tanıyan Kinect, video oyun endüstrisinde yeni bir çağın başlangıcı olarak düşünülmektedir. Bunu kanıtlar nitelikteki satış rakamlarıyla, iPhone ve iPad cihazlarının satış rekorlarını geride bırakarak "Dünyanın en hızlı (ilk 60 günde 8 milyon adet) satılan tüketici elektronik cihazı" olarak rekorlar kitabına girmeyi başarmıştır.



Şekil 2.1. Xbox 360 Kinect ve veri/enerji kablosu

Başlangıçta sadece Xbox 360 oyun konsollarında kullanılan Kinect, sahip olduğu derinlik, görüntü ve ses algılama özellikleriyle oyun sektörünün yanında eğitim, tıp gibi alanların da ilgisini çekmiştir. Gösterilen bu ilgi üzerine 12V bir adaptöre sahip veri/enerji kabloları ile Yazılım Geliştirme Kitleri (SDK) piyasaya çıkarılmıştır. Bu şekilde Xbox 360 Kinect'in bilgisayar ile bağlantısı sağlanarak uygulama geliştirme ortamı hazırlanmıştır. Daha sonra herhangi bir adaptöre ihtiyaç duymadan, gerekli enerjiyi bilgisayarın USB girişinden sağlayan Windows işletim sistemiyle uyumlu Microsoft Kinect'in piyasaya sürülmesiyle birlikte mevcut Kinect teknolojisinin kullanım alanı da genişlemiştir. Aşağıdaki şekilde Kinect algılayıcının farklı kullanım alanlarına dair birkaç örnek gösterilmektedir.

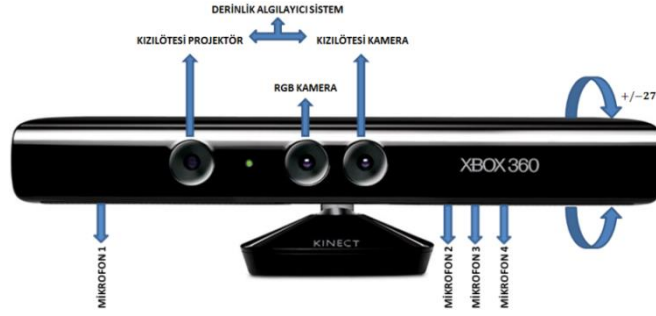


Şekil 2.2. Kinect algılayıcının farklı kullanım alanları

Bu tezde yapılan çalışmada, Microsoft Kinect'e göre fiyatının düşük ve kolay temin edilebilir olması nedeniyle Şekil 2.1'de gösterilen Xbox 360 Kinect kullanılmıştır.

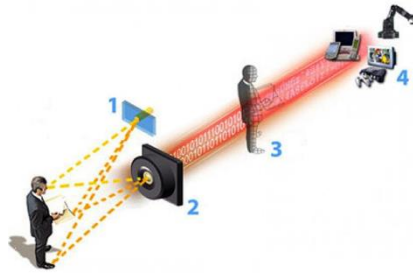
2.1. Xbox 360 Kinect Algılayıcının Yapısı ve Çalışma Mantığı

Kinect algılayıcının ön yüzünde üç adet göz bulunmaktadır. Bu üç gözden sol tarafta olan kızılötesi projektör olarak görev yaparken, sağ taraftaki CMOS algılayıcıdan oluşan bir kızılötesi kameradır. Bu iki göz birleştirilerek derinlik algılayıcı sistem meydana getirilmiştir. Bu sistem sayesinde 80×60 piksel, 320×240 piksel veya 640×480 piksel çözünürlüğe sahip saniye başına 30 adet 3 farklı derinlik görüntüsü alınabilmektedir. Optimum derinlik algılama mesafesi $0.8m - 4m$ arasındadır ve elde edilen derinlik verisi milimetre cinsinden ifade edilmektedir [25-27]. Orta göz, yine CMOS altyapısına sahip bir RGB kamera olarak işlev görmektedir. Bu kamera tarafından alınan görüntüler tahmin edilenin aksine video olarak değil resimler olarak iletilmektedir. Görüntü akışı 640×480 piksel ve 1280×1024 piksel olmak üzere iki farklı çözünürlükte sağlanmaktadır. Bu iki çözünürlükte ise saniyede sırasıyla 30 ve 12 adet 2 farklı veri akışı olmaktadır [6]. RGB kamera için en uygun görüntü algılama mesafesi $1.2m - 3.5m$ 'dir. İlk bakışta en dikkat çekici donanım bileşenleri olarak göze çarpan bu üç gözün dışında Kinect; alt yüzüne dizili 4 adet sıralı mikrofon sayesinde kaliteli bir ses tanıma teknolojisine sahiptir. Ayrıca destek bölümünde yer alan DC motor mekanizmasıyla dikeyde $\pm 27^\circ$ hareket edebilmektedir. Kinect'in temel donanım bileşenlerine ait gösterim aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.3. Temel donanım bileşenleri

Projektörden çıkan kızılötesi ışınlar, yatayda 57° , dikeyde 43° 'lik görüş alanındaki her objeye gönderilmektedir [27]. Cisimlerden yansıyan ışınların kızılötesi kameraya ulaşma sürelerinin hesaplanmasıyla görüş alanının siyah beyaz noktalardan oluşan 3 boyutlu haritası çıkarılmaktadır. Bu mantıkta çalışan derinlik algılayıcı sistem sayesinde 1 cm 'ye kadar derinlik farkları algılanabilmektedir. Bu sistemin çalışmasına dair gösterim, Şekil 2.4'teki gibidir.



Şekil 2.4. Derinlik algılayıcı sistem

Kinect, sahip olduğu yazılım sayesinde görüş alanındaki en basit insan figür ya da figürlerini algılayabilmektedir. Bulunan insan figürlerine ait kafa, omuz, dirsek, el ve ayak gibi belirli 20 bölge işaretlenerek iskelet sistemi oluşturulmaktadır. En fazla 6 kişiyi takip edebilen Kinect, bunlardan 2'si hakkında hareket analizi yapabilmektedir. Yani algılanan kişilerden en fazla 2'sinin iskeletine ait 20 adet eklem nokta verileri, ilgili uygulama platformuna iletilmektedir. Bu uygulama ortamı ekrandaki bir oyun karakteri olabileceği gibi kontrol edilecek bir robot da olabilir. Yukarıdaki şekilde numaralandırılmış kısımlar:

1. Kızılötesi projektör
2. Kızılötesi kamera
3. Algılanan insan figürüne ait derinlik görüntüsü

4. Uygulama platformu

olarak düşünülebilir.

Kinect algılayıcının insan figürlerini algılayabilmesini sağlayan yazılımın temelinde ise, yapay zekânın otomatik öğrenme alanından faydalanılmıştır. Bu öğrenmede, milyonlarca insan görüntüsü bilgisayara giriş olarak verilerek, bilgisayara insan vücudunu nasıl anlayacağı öğretilmiştir. Yazılımcılar, bu yöntemle insan vücudunun yapabildiği hareketlere dair kodların yazılması işinden kurtulmuştur. Farklı insan hareketlerine ait bu giriş verileri, özel stüdyolarda kişilere bağlanan algılayıcılar vasıtasıyla ve çekilen fotoğraflardaki resimlerin bilgisayar ortamında işlenmesiyle oluşturulmaktadır. Bu sayede Kinect, daha önce gördüğü insan vücudu şekillerinden yola çıkarak karşısındaki insan figürüne en yakın benzerlikteki iskelet yapısını seçebilmektedir.

Kinect, yeterli sayıda vücut parçası hakkında yaptığı tahminlerde belli bir kesinliğe ulaştığında, o iskelete ve daha önce elde ettiği üç boyutlu görsele göre algıladığı kişinin sanal ortamdaki karşılığını oluşturabilmektedir. Hatta görüş alanı dışında kalan parçaları bile tamamlayabilir. Bu işlemler saniyede 30 kez tekrarlanmakta ve hareket edildiğinde sürekli yeni poza göre vücut kısımları belirlenmektedir. Bu sayede insan gözü için kesintisiz bir görüntü akışı oluşturulmaktadır.

Kinect ile verimli bir şekilde uygulamaya geliştirebilmek için birtakım gereksinimlere ihtiyaç vardır [26 - 29].

Donanım gereksinimleri:

- 32 bit (x86) veya 64 bit (x64) çift çekirdekli 2.66 Ghz işlemcili bir bilgisayar
- En az 2 GB RAM
- Windows 7 uyumlu ve DirectX 9.0c destekli bir ekran kartı
- Kullanılan Kinect algılayıcıya göre güç kaynaklı ya da kaynaksız veri/enerji kablosu

Yazılım gereksinimleri:

- Windows 7 üzerine kurulu Microsoft.NET Framework 4.0
- Visual Studio 2010 Express veya üzeri sürümleri
- Microsoft Kinect SDK

Konuşma özelliklerini kullanabilmek için;

- Microsoft Speech Platform – Server Runtime 10.2 (x86 sürümü)
- Microsoft Speech Platform – Software Development Kit 10.2 (x86 sürümü)
- Kinect for Windows Runtime Language Pack 0.9

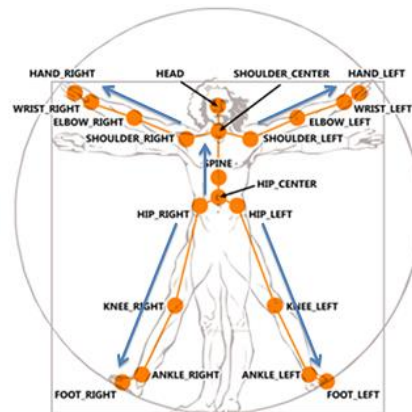
Kullanılan algılayıcıyla ilgili, yukarıda anlatılan temel özellikler aşağıdaki Tablo 2.1’de toplanmıştır.

Tablo 2.1. Xbox 360 Kinect algılayıcının temel özellikleri

Derinlik Görüntü Akışı	80x60 piksel 30 fps 320x240 piksel 30 fps 640x480 piksel 30 fps
Derinlik Algılama Mesafesi	0.8m – 4m
RGB Görüntü Akışı	640x480 piksel 30 fps 1280x1024 piksel 12 fps
RGB Görüntü Algılama Mesafesi	1.2m – 3.5m
Görüş Alanı	57.5° yatay, 43.5° dikey
Veri Yolu	USB 2.0
Ses Tanıma	Mikrofon x 4
Hareket	±27° dikey

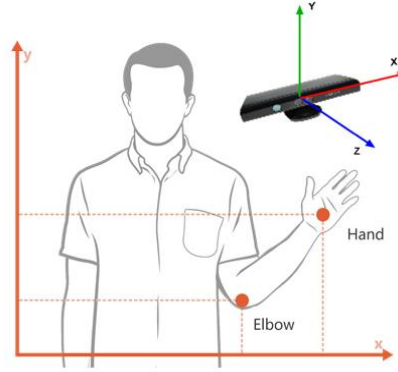
2.2. İskelet İzleme

Kinect algılayıcının en dikkat çekici özelliklerinden biri olan iskelet izleme, diğerleri arasında belki de en çok kullanılanıdır. Algılayıcı görüş alanındaki insan figürüne ait eklem noktalarının tespit edilmesi ve izlenmesinden ibaret olan bu özellik, hareket analizi uygulamalarında sıkça tercih edilmektedir. İnsan vücudu üzerindeki eklem noktalarının belirlenmesi ve bu nokta konumlarına göre insan vücudunun modellenmesi şeklinde karşımıza çıkan iskelet yapısı sayesinde vücut parça hareketleri, rahat bir şekilde gözlemlenmektedir [13]. İskelet yapısına ait gösterim, Leonardo da Vinci’nin Vitruvius Adamı adlı çalışması üzerinde aşağıdaki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Kinect for Windows SDK 1.8 için iskelet yapısı

Eklem noktalarının pozisyon verileri x, y, z üçlülerinden oluşmaktadır. İlk iki veri x, y piksel değerlerini ifade ederken son veri z , milimetre cinsinden derinlik değerini ifade etmektedir. Aşağıdaki Kinect koordinat sistemi incelendiğinde, eklem nokta pozisyonları daha rahat anlaşılacaktır.



Şekil 2.6. Kinect koordinat takımı

Yapılan eylemler geçiş hareketlerine ayrıldığında, hareketler arasındaki farklar rahatça görülebilmektedir. Kinect yazılımı altında aşağıdaki gibi etiketlenen eklem nokta pozisyonlarının ve buna bağlı olarak vücut parça açılarının değişiminden kaynaklanan bu farklılıklar, hareketleri meydana getiren başlıca nedenlerdir. Bu yüzden insan kol hareketlerinin 3B analizinin yapıldığı bu çalışmada, vücut parça açılarının doğru bir şekilde hesaplanmasına dikkat edilmiştir. İskelet yapısı, bu hesaplamaların anlaşılmasında büyük kolaylık sağlamaktadır.

Tablo 2.2. Eklem nokta isim ve numaraları

Eklem Adı	No	Eklem Adı	No
HipCenter	0	WristRight	10
Spine	1	HandRight	11
ShoulderCenter	2	HipLeft	12
Head	3	KneeLeft	13
ShoulderLeft	4	AnkleLeft	14
ElbowLeft	5	FootLeft	15
WristLeft	6	HipRight	16
HandLeft	7	KneeRight	17
ShoulderRight	8	AnkleRight	18
ElbowRight	9	FootRight	19

3. NAO ROBOT

Maksimum sayıdaki kullanıcı ihtiyaçları göz önüne alınarak 2004 yılında başlatılan NAO projesi, proje ile aynı adı taşıyan NAO insansı robotuyla hedefine ulaşmıştır. Paris merkezli Aldebaran Robotics firması tarafından geliştirilen bu robot; yüksek hareket kabiliyeti ve farklı çalışma alanlarına uyarlanabilen yapısıyla dikkat çekmektedir. 15 Ağustos 2007 itibariyle uluslararası robot yarışmalarına giriş yapan robot, Robot Futbolu Dünya Kupası (RoboCup) Standart Platform Ligi'nde (SPL) kullanılan Sony'nin robot köpeği AIBO'nun yerini almıştır. O tarihten beri RoboCup'ta standart olarak kullanılan NAO insansı robotuna ait resim Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. NAO robot

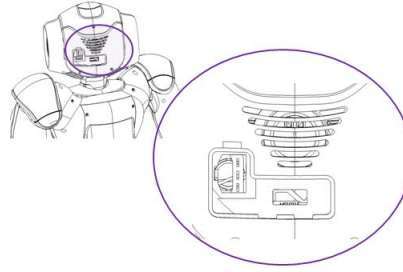
0.57m boyunda ve yaklaşık 4.5kg ağırlığındaki NAO robotun vücut kütle endeksinde bakıldığında, diğer robotlara göre daha hafif olduğu görülecektir. Robot, özgün pelvis kinematiği ve fırçalı DC motorlara dayanan tahrik sistemi sayesinde kendine özgü yürüyüş karakteristiğine sahiptir. Hafif nesneleri tutup kaldırabilen NAO, düştüğünde kendiliğinden kalkabilmesinin yanında üzerinde bulunan çift kamera ile yüzleri tanıyabilmektedir. Ses tanıma özelliğine de sahip olan robot, konuşabildiği gibi sorulan soruları da cevaplayabilmektedir. NAO ile birlikte sunulan geniş hareket kabiliyeti ve diğer tüm özellikler, robotu mükemmel bir çalışma platformu haline getirmiştir. Robota ait temel özelliklerinin gösterildiği tablo, aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.1. NAO robotun temel özellikleri

Vücut Kütle Endeksi	13.5 kg/m ²
Bağlantı	Ethernet, Wi-Fi
Görüş	1220 piksel 30 fps X2 Kamera
Serbestlik Derecesi	25 SD
Pil Kullanım Süresi	60dk – 90dk

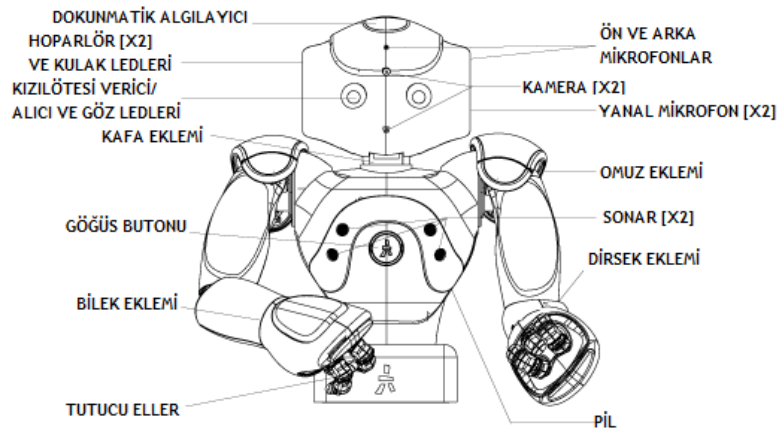
3.1. Kullanım Alanları ve Yapılan Çalışmalar

Hareketli robotlarla yapılacak farklı araştırma konuları farklı robotlar gerektirebileceği gibi robot üzerindeki parçaların kolaylıkla eklenip çıkartılabilmesi ve yerlerinin değiştirilebilmesi de araştırmacılar için önemlidir. Farklı gövde modelleri ve sürümleri ile NAO robot, bu ihtiyaca cevap vererek çeşitli çalışma alanlarında kendine yer bulabilmiştir. Yapılan tez çalışmasında robotun V4.0 sürümünün T14 modeli kullanılmıştır. İlgili sürümün ayırt edici özelliğine ve ilgili modele ait resim sırasıyla, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.2. NAO robotun V4.0 sürümü

Kullanılan robot, amaca uygunluk kapsamında diğer NAO modelleri arasındaki fiyat farkı göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir.



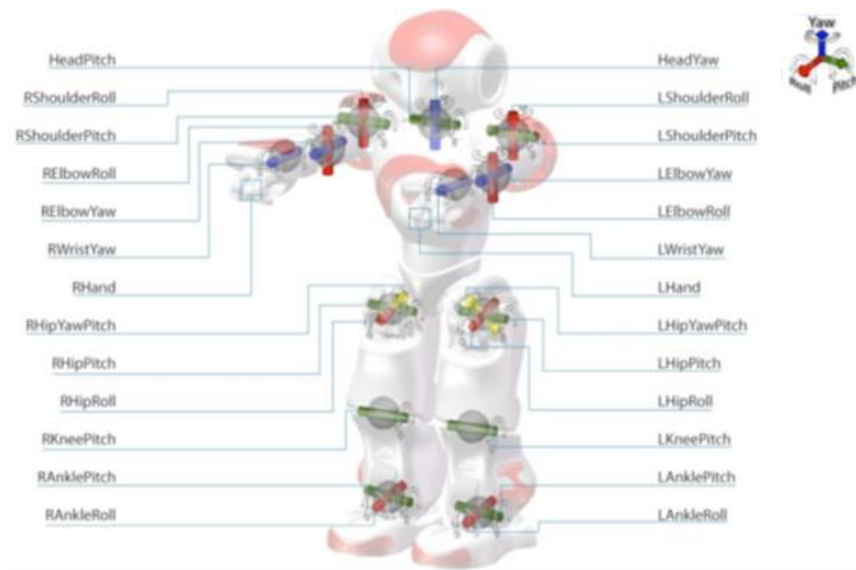
Şekil 3.3. NAO robotun T14 modeli

Dünyanın her yerindeki 350'yi aşkın üniversite ve laboratuvarlarda robot teknolojisi, insan-robot etkileşimi gibi alanlarda kullanılan NAO insansı robotu, yaşlanan nüfustaki

artış ve özel ihtiyacı bulunan çocukların sayısındaki yükselişin sonucu olarak, bu bireylerin tıbbi ve sosyal ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik çalışmalarda bireylere yardımcı olmak üzere sıklıkla kullanılmaktadır. Sevimli tasarımıyla özellikle otistik çocukların ilgisini çekmesinden dolayı bu çocukların kelime dağarcıklarının gelişimi, kelimelerin ve deyimlerin yerinde ve anlamlı kullanımı, işaret dilinin öğretilmesi gibi dil ve iletişim gelişimleri konularında NAO insansı robotunun tercih edilmesi neticesinde önemli sonuçlar elde edilmiş, olumlu geri dönüşler alınmıştır. Alınan olumlu sonuçlardan sonra NAO robotun, genel nüfus için yardımcı bir robot olarak geliştirilmesi fikri dikkat çekmektedir. Bu bağlamda robotun, eğlence ve arkadaşlık sağlamanın yanı sıra, gündelik aktivitelere yardımcı olarak evde tamamlayıcı bir rol üstlenmesi planlanmaktadır.

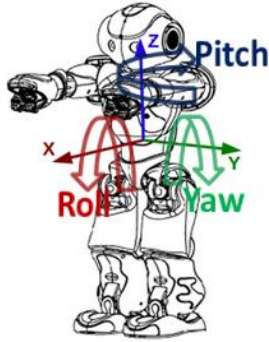
3.2. Kinematik Yapı

İnsana özgü bir eylemin, insansı bir robot tarafından sonuçlandırılması bir başarıdır. Fakat taklit söz konusu olduğunda eylemin sonuca ulaşması kadar gerçekleştirilen hareketin doğal bir şekilde yapılması da önemlidir. Bu yüzden taklit edilecek eylem başlangıç, geçiş ve bitiş hareketlerinden oluşan bir bütün olarak düşünülmelidir. Geçiş hareketleri farklı eylemler için farklılık gösterebilir, fazla ya da az olabilir. Burada önemli olan geçiş hareketlerinin ne denli doğal gözüktüğüdür. Asıl başarı, eylemin doğal bir şekilde sonuçlandırılmasıdır.



Şekil 3.4. NAO robotun kinematik yapısı

Oluşturulan algoritma ve yazılan kod ne kadar iyi olursa olsun, gerçekleştirmeyi düşündüğünüz eylem, robotunuzun size sunduğu hareket sınırları içinde gerçeğe yakındır. NAO, bacakları ve pelvisi içeren alt kısım için 11, gövde, kafa ve kolları içeren üst kısım için 14, toplamda 25 adet serbestlik derecesine sahiptir. Her bir robot kol uzvu için omuz, dirsek ve bileklerde ikişer, ellerde ise birer adet serbestlik derecesi bulunmaktadır. İstenilen davranış, 25 adet serbestlik derecesinin sağladığı hareket kabiliyetiyle doğal bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Robotun kinematik yapısını gösteren yukarıdaki şekilde eklem noktalarına yerleştirilen eksenler sayesinde, eklem hareket yönleri açıkça ifade edilmiştir. Şekil 3.5'e bakılacak olursa Şekil 3.4'ün sağ üst köşesindeki koordinat takımı daha iyi anlaşılacaktır.



Şekil 3.5. NAO robotun koordinat eksenleri

Robot gövdesine yerleştirilen her bir eksen üzerindeki ok yönlerinden anlaşılacağı gibi:

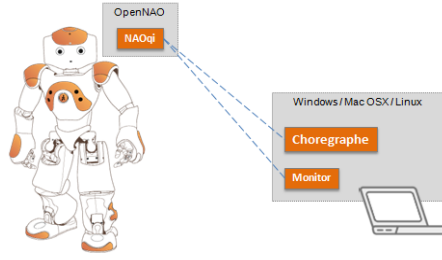
Roll : X eksenini etrafında yapılan hareketi,

Pitch : Z eksenini etrafındaki hareketi,

Yaw : Y eksenini etrafındaki hareketi göstermektedir.

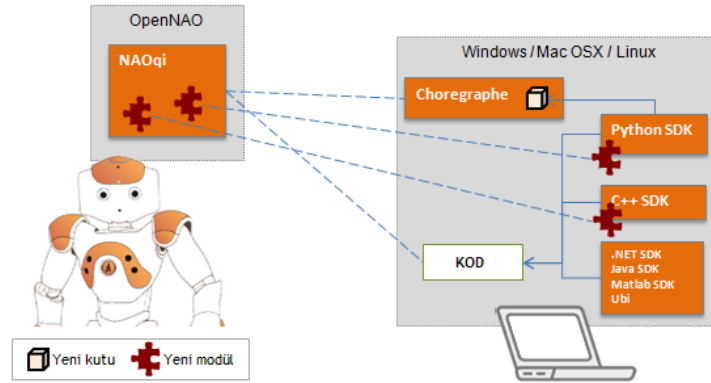
3.3. Yazılım Altyapısı

Aldebaran robotlarının tümünde şirket tarafından geliştirilen, NAOqi adında özel bir yazılım kullanılmaktadır. Sesli komutların yorumlanmasına olanak tanıyarak NAO robotun otonom hareket etmesini sağlayan bu yazılım, OpenNAO işletim sisteminde çalışmaktadır. robotun kontrol edilmesi için OpenNAO üzerinde çalışan NAOqi yazılımı dışında: Windows, Linux ve MAC OS X gibi işletim sistemlerinde çalışan masaüstü yazılımları bulunmaktadır. Bu yazılımlara ait resim Şekil 3.6'da NAO robot ile birlikte verilmiştir.



Şekil 3.6. Gömülü ve masaüstü yazılımlar

Masaüstü yazılımlarından biri olan Choregraphe, görsel programlama dili olarak kullanılmasının yanında, yine masaüstü yazılımlarından biri olan NAOsim ile beraber robot benzetim çalışmalarında kullanılmaktadır. Bunların dışında robotun uzaktan kontrolü ve Choregraphe hareket kütüphanesinin zenginleştirilmesi amacıyla SDK'lar bulunmaktadır. Tercih edilen programlama dili ve ortamına göre değişiklik gösteren mevcut SDK'lar aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.7. NAO robot için mevcut SDK'lar

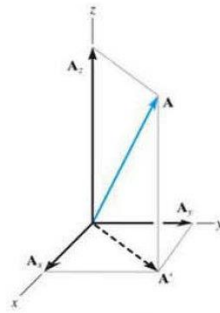
İnsan robot etkileşimine dayalı bu çalışma, Visual Studio 2010 ile Microsoft.NET Framework 4.0 ortamında Kinect for Windows SDK 1.8 ve NAOqi.NET SDK'ların kullanılmasıyla geliştirilmiştir. Ara yüz kodlaması WPF, yazılım kodlaması C# programlama dili ile yazılmıştır.

4. İNSAN KOL HAREKETLERİNİN TAKLİT EDİLMESİ

Şimdiye dek fabrikalarda kullanmaya ve görmeye alışkın olduğumuz robotların fiziki görünüşleri kadar, davranışlarının da bizlere benzemesi, insan-robot işbirliğinin günlük hayatta benimsenmesini kolaylaştıracaktır. Bu yönde yapılan çalışmaların artması ve geliştirilmesi, insanların gerçekleştirebildiği bazı görevlerin ve hatta mesleklerin bile robotlar tarafından yapılmasının yolunu açmıştır. İnsan-robot işbirliğinin artırılması düşünüldükçe yola çıkılan çalışmanın bu kısmında, insan üst vücut hareketlerinin NAO robot tarafından taklit edildiği bir sistem sunulmaktadır. Bu sistemin oluşturulmasında vücut parçalarının birer vektör gibi düşünüldükçe, eklemler arasındaki açıların hesaplanması ve robota aktarılması şeklinde bir yol izlenmiştir. Hareketlerin, vücut parçaları arasındaki açı değişimlerinden meydana geldiği hatırlanacak olursa; eklem açı hesabının doğru bir şekilde yapılması büyük önem teşkil etmektedir. Bu yüzden vektörler ile ilgili kavramların ve hesaplamaların daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacağı düşünüldükçe ayrı bir bölüm hazırlanmıştır [30,31].

4.1. Vektörlerin Analitik ve Geometrik İncelenmesi

$\vec{A}_x, \vec{A}_y, \vec{A}_z$ bileşenlerinden oluşan bir $\vec{A}$ vektörünün kartezyen koordinat sistemindeki gösterimi Şekil 4.1'deki gibidir. Bu bileşenler, sırasıyla $\vec{A}$ vektörünün x, y, z eksenleri üzerindeki dik iz düşüm vektörleridir. Vektör bileşenleri, paralelkenar metoduyla uç uca eklenerek $\vec{A}$ vektörünü oluşturmaktadır.



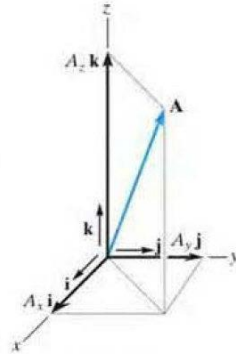
Şekil 4.1. Vektör gösterimi

$$\vec{A} = \vec{A'} + \vec{A_z} \quad (4.1)$$

$$\vec{A'} = \vec{A_x} + \vec{A_y} \quad (4.1a)$$

$$\vec{A} = \vec{A_x} + \vec{A_y} + \vec{A_z} \quad (4.1b)$$

Başlangıç (0,0,0) noktasını; (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1) noktalarına birleştiren vektörlere sırası ile x, y, z eksenlerinin birim vektörleri denir. $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ ile ifade edilen bu birim vektörler, sırasıyla x, y, z eksen doğrultularını (yönlerini) göstermek için kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde $\vec{A}$ vektörünün Kartezyen bileşenleri cinsinden ifadesine yer verilmiştir. Bileşenlerin her biri, vektörün büyüklüğünü (uzunluğu) ve yönünü belirtmektedir.



Şekil 4.2. Kartezyen vektör bileşenleri

$\vec{A_x}$: $\vec{A}$ vektörünün x eksenindeki dik iz düşüm vektörü/ $\vec{A}$ vektörünün x bileşeni

A_x : $\vec{A}$ vektörünün x eksenini doğrultusundaki vektör büyüklüğü/ $\vec{A_x}$ vektör büyüklüğü

$\vec{i}$: $\vec{A}$ vektörünün x eksenini doğrultusundaki birim vektörü/ $\vec{A_x}$ birim vektörü

$$\vec{A_x} = A_x \vec{i} \quad (4.2a)$$

$$\vec{A_y} = A_y \vec{j} \quad (4.2b)$$

$$\vec{A_z} = A_z \vec{k} \quad (4.3c)$$

$$\vec{A} = [A_x \ A_y \ A_z]$$

$$\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k} \quad (4.2)$$

4.1.1. Vektörün Büyüklüğü

Bir $\vec{A}$ vektörünün büyüklüğü (normu), vektör bileşenlerinin kareleri toplamının karekökü şeklinde ifade edilmektedir. Vektör büyüklüğünün hesaplanmasına ait formül aşağıdaki gibidir.

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 \vec{i}^2 + A_y^2 \vec{j}^2 + A_z^2 \vec{k}^2} \quad (4.3)$$

$$\vec{i}^2 = \vec{j}^2 = \vec{k}^2 = 1 \quad (4.4)$$

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (4.3a)$$

Denklem 4.4'e dikkat edilecek olursa, birim vektör büyüklüklerinin 1'e eşit olduğu görülecektir.

4.1.2. Birim Vektör

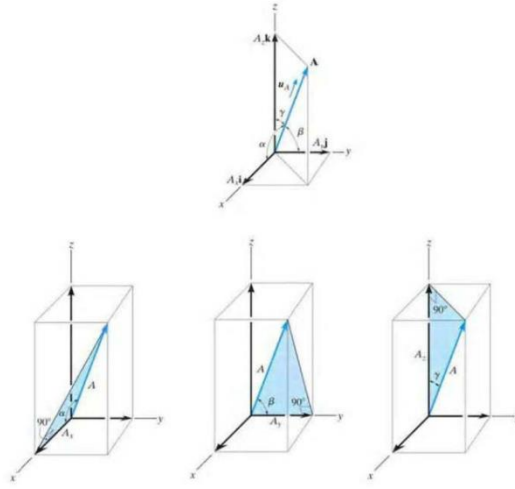
Büyüklüğü 1'e eşit olan vektörlere birim (normalize) vektör denir. Bir $\vec{A}$ vektörünün birim vektör büyüklüğü aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\vec{u}_A = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|} \quad (4.5)$$

$$\vec{u}_A = \frac{A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}}{|\vec{A}|} \quad (4.5a)$$

4.1.3. Vektör Doğrultu Açıları

$\vec{A}$ vektörünün x, y, z eksenleriyle yaptığı açılar; vektör doğrultusunun belirlenmesinde etkilidir. Sırasıyla α (alfa), β (beta), γ (gama) ile isimlendirilen bu açılara doğrultu açıları denir. 0° ile 180° arasında değişen bu açılara ait gösterim aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.3. Doğrultu açıları

Açılar: $|\vec{A}|$ ve A_x, A_y, A_z büyüklükleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\cos(\alpha) = \frac{A_x}{|\vec{A}|} \quad (4.5)$$

$$\cos(\beta) = \frac{A_y}{|\vec{A}|} \quad (4.6)$$

$$\cos(\gamma) = \frac{A_z}{|\vec{A}|} \quad (4.7)$$

Doğrultu açılarını elde etmek için aşağıda gösterildiği gibi vektör doğrultusunda bir birim vektör de oluşturulabilir.

$$\vec{u}_A = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|} = \frac{A_x}{|\vec{A}|} \vec{i} + \frac{A_y}{|\vec{A}|} \vec{j} + \frac{A_z}{|\vec{A}|} \vec{k} \quad (4.8)$$

$$\vec{u}_A = \cos(\alpha) \vec{i} + \cos(\beta) \vec{j} + \cos(\gamma) \vec{k} \quad (4.8a)$$

$$|\vec{u}_A| = \sqrt{\cos(\alpha)^2 \vec{i}^2 + \cos(\beta)^2 \vec{j}^2 + \cos(\gamma)^2 \vec{k}^2} \quad (4.9)$$

$$1 = \cos(\alpha)^2 + \cos(\beta)^2 + \cos(\gamma)^2 \quad (4.9a)$$

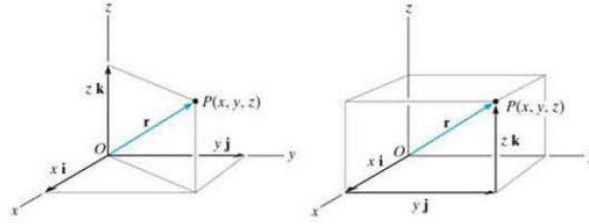
$$\vec{A} = |\vec{A}| \vec{u}_A \quad (4.10)$$

$$\vec{A} = |\vec{A}| \cos(\alpha) \vec{i} + |\vec{A}| \cos(\beta) \vec{j} + |\vec{A}| \cos(\gamma) \vec{k} \quad (4.10a)$$

$$\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k} \quad (4.10b)$$

4.1.4. Konum Vektörü

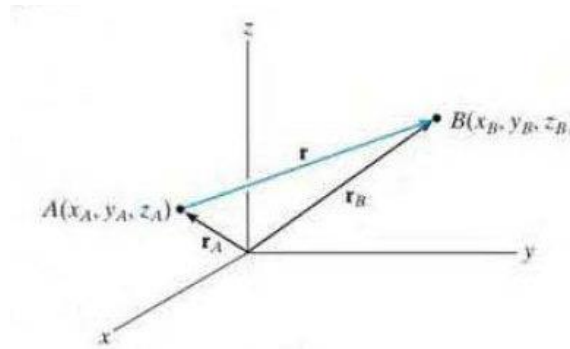
Konum (pozisyon) vektörü, bir noktanın uzaydaki konumunu diğer bir noktaya göre belirleyen sabit bir vektördür. $\vec{r}$, pozisyon vektörünün üç boyutlu uzaydaki gösterimi aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.4. Konum vektörü

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \quad (4.11)$$

Daha genel bir ifadeyle, konum vektörü uzaydaki herhangi bir **A** noktasından **B** noktasına da yönelebilir. Bu iki noktanın tanımladığı $\vec{r}$ vektörü ve vektör bileşenleri aşağıda gösterilmektedir.



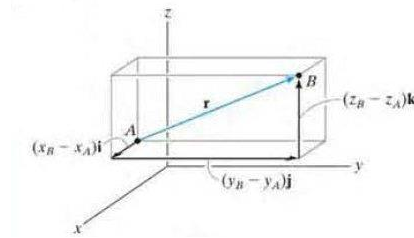
Şekil 4.5. İki nokta arasındaki vektör

$$\vec{r}_A + \vec{r} = \vec{r}_B \quad (4.12)$$

$$\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A = (x_B\vec{i} + y_B\vec{j} + z_B\vec{k}) - (x_A\vec{i} + y_A\vec{j} + z_A\vec{k}) \quad (4.12a)$$

$\vec{r}$, konum vektörünün $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ bileşenleri, vektörün bitiş koordinatları $B(x_B, y_B, z_B)$ üçlüsünden, vektörün başlangıç koordinatları $A(x_A, y_A, z_A)$ üçlüsünün çıkarılmasıyla

bulunmaktadır. Ayrıca bu üç bileşenin A noktasından başlanarak B 'ye kadar uç uca eklenmesiyle $\overrightarrow{AB}$ vektörü elde edilmektedir.



Şekil 4.6. İki nokta arasındaki vektör tanımı

$$\overrightarrow{AB} = B - A \quad (4.12c)$$

$$\vec{r} = (x_B - x_A)\vec{i} + (y_B - y_A)\vec{j} + (z_B - z_A)\vec{k} \quad (4.12d)$$

Başlangıç noktası A , bitiş noktası B olan pozisyon vektörü bulunduktan sonra bu doğrultudaki $\vec{u}_r$ birim vektörü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\vec{u}_r = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad (4.13)$$

A , B noktaları ile tanımlanan $\overrightarrow{AB}$ vektörü, vektör büyüklüğü ve birim vektör cinsinden Denklem 4.14'te ifade edilmiştir.

$$\overrightarrow{AB} = |\overrightarrow{AB}| \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} = |\overrightarrow{AB}| \left(\frac{(x_B - x_A)\vec{i} + (y_B - y_A)\vec{j} + (z_B - z_A)\vec{k}}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}} \right) \quad (4.14)$$

Vücut parçalarının Kinect eklem noktalarına göre belirlenmesi aşamasında aşağıdaki vektör analizine benzer bir yol izlenmiştir.

1. **Adım:** A 'dan B 'ye yönelen pozisyon vektörü $\vec{r}$ belirlenmektedir.
2. **Adım:** $|\vec{r}|$ büyüklüğü hesaplanmaktadır.
3. **Adım:** $\overrightarrow{AB}$ ve aynı zamanda $\vec{r}$ 'nin doğrultusunu tanımlayan $\vec{u}_r$ birim vektörü belirlenmektedir.
4. **Adım:** $|\overrightarrow{AB}|$ büyüklüğü ve $\vec{u}_r$ birleştirilerek, yani $\overrightarrow{AB} = |\overrightarrow{AB}|\vec{u}_r$ yazılarak, $\overrightarrow{AB}$ elde edilmektedir.

4.2. Vektörler Arasındaki İşlemler

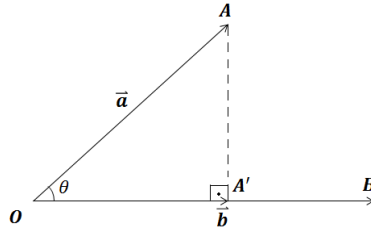
Vücut eklem açılarının belirlenmesinde, aşağıda ayrıntısıyla açıklanan işlemlerden istifade edilmiştir.

4.2.1. Skaler Çarpım

$\vec{a}$, $\vec{b}$ gibi sıfırdan farklı iki vektörün skaler çarpımı $\vec{a}\vec{b}$ şeklinde gösterilmekte ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\vec{a}\vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}|\cos\theta \quad (4.15)$$

θ , vektörler arasındaki açıdır ve $0 < \theta < \pi$ arasındadır. Çarpım sonucu skaler bir büyüklüktür. Skaler çarpım; iç (inner) çarpım ya da nokta (dot) çarpım olarak da adlandırılmaktadır. Aşağıdaki şekilde geometrik olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.7. İç çarpımın geometrik ifadesi

$$\vec{a}\vec{b} = \vec{OA} \cdot \vec{OB} = \vec{OA'} \cdot \vec{OB} = |\vec{OA'}| \cdot |\vec{OB}| \quad (4.16)$$

$$\cos\theta = \frac{|\vec{OA'}|}{|\vec{OA}|} \quad (4.17)$$

$$|\vec{OA'}| = |\vec{OA}|\cos\theta \quad (4.17a)$$

$$\vec{a}\vec{b} = |\vec{OB}||\vec{OA}|\cos\theta \quad (4.16a)$$

Denklem 4.16a'nın Denklem 4.15'e eşit olduğuna dikkat edilmelidir. $\vec{a}$, $\vec{b}$ gibi iki vektörün iç çarpımlarının geometrik ifadesinden sonra analitik ifadesi aşağıdaki formüller ile açıklanmıştır.

$$\vec{a} = (a_x \ a_y \ a_z), \vec{b} = (b_x \ b_y \ b_z)$$

$$\vec{a}\vec{b} = (a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k})(b_x\vec{i} + b_y\vec{j} + b_z\vec{k}) \quad (4.18)$$

$$\vec{i}\vec{i} = \vec{j}\vec{j} = \vec{k}\vec{k} = 1$$

$$\vec{i}\vec{j} = \vec{i}\vec{k} = \vec{j}\vec{k} = 0 \quad (4.19)$$

$$\vec{a}\vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z \quad (4.18a)$$

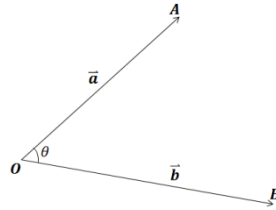
$$\vec{a}\vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z + \dots + a_n b_n \quad (4.19)$$

$$\vec{a}\vec{b} = \sum_{r=1}^n a_r b_r \quad (4.19a)$$

Denklem 4.19'de birim vektörlerin iç çarpımları verilmiştir.

4.2.2. İki Vektör Arasındaki Aç

$\vec{a}$ ve $\vec{b}$ gibi 3B iki vektör arasındaki açı hesabına ait gösterim aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.8. İki vektör arasındaki açı

$$\cos\theta = \frac{\vec{a}\vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} \quad (4.20)$$

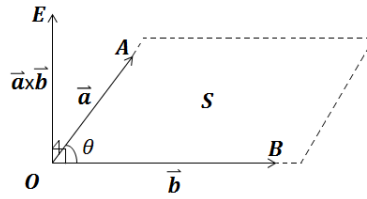
$$\cos\theta = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{|\vec{a}||\vec{b}|} \quad (4.20a)$$

İç çarpım ve vektör büyüklüğüne ait hesaplamalara bakılacak olursa, bir vektör normunun, vektörün kendisiyle olan skaler çarpımının karekökü olduğu göze çarpacaktır.

$$|\vec{a}| = \sqrt{\vec{a}\vec{a}} = \sqrt{\vec{a}^2} \quad (4.21)$$

4.2.3. Vektörel Çarpım

Sıfırdan farklı $\vec{a}$ ve $\vec{b}$ gibi iki vektörün vektörel çarpımı $\vec{a} \times \vec{b}$ şeklinde gösterilmekte ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. $\vec{a}$ ve $\vec{b}$ vektörlerinin tanımladığı paralelkenarın alanı aynı zamanda OE doğrultusundaki $\vec{a} \times \vec{b}$ vektörünün büyüklüğüdür.



Şekil 4.9. Vektörel çarpım

- $\vec{e}$: OE doğrultusundaki birim vektör
- S : Paralelkenarın alanı
- $|\vec{a}| \sin \theta$: Paralelkenarın yüksekliği
- $|\vec{b}|$: Paralelkenarın uzunluğu (tabanı)

$$S = (\text{taban}) \times (\text{yükseklik}) \quad (4.22)$$

$$S = |\vec{b}| |\vec{a}| \sin \theta \quad (4.22a)$$

$\vec{a} \times \vec{b}$ vektörü, birim vektör ve vektör büyüklüğü cinsinden ifade edilecek olursa, aşağıdaki vektörel çarpım formülüne ulaşılacaktır.

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{e} |\vec{a}| |\vec{b}| \sin \theta \quad (4.23)$$

Vektörel çarpımın sonucu bir vektördür ve doğrultusu $\vec{a}$ ve $\vec{b}$ vektörlerinin oluşturduğu düzleme diktir. $\vec{a} \times \vec{b}$ vektörel çarpımı, aşağıda analitik olarak ifade edilmektedir.

$$\vec{a} = (a_x \ a_y \ a_z), \vec{b} = (b_x \ b_y \ b_z)$$

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}) \times (b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k}) \quad (4.24)$$

$$\vec{i} \times \vec{i} = \vec{j} \times \vec{j} = \vec{k} \times \vec{k} = 0$$

$$\vec{i} \times \vec{j} = \vec{k}, \vec{i} \times \vec{k} = -\vec{j}$$

$$\vec{j} \times \vec{i} = -\vec{k}, \vec{j} \times \vec{k} = \vec{i}$$

$$\vec{k} \times \vec{i} = \vec{j}, \vec{k} \times \vec{j} = -\vec{i} \quad (4.25)$$

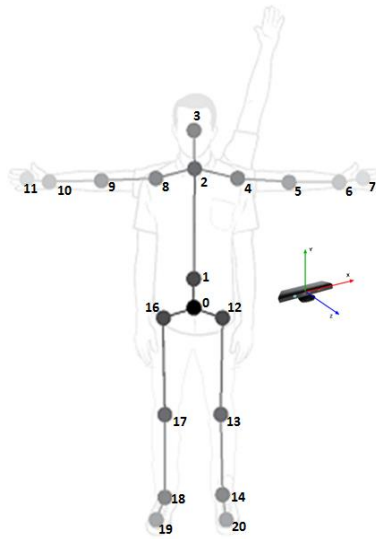
$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - a_z b_y) \vec{i} + (a_z b_x - a_x b_z) \vec{j} + (a_x b_y - a_y b_x) \vec{k} \quad (4.26)$$

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - a_z b_y, a_z b_x - a_x b_z, a_x b_y - a_y b_x) \quad (4.26a)$$

Denklem 4.25’de birim vektörlerin vektörel çarpımları verilmiştir.

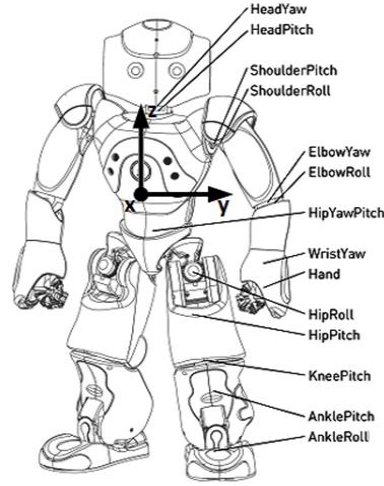
4.3. Kol Eklem Açılarının Hesabı ve NAO Robota Aktarımı

Her bir vücut parçasını, Şekil 4.10’daki gibi kabaca birer kemik olarak düşünürsek, Kinect algılayıcının konumuna bağlı olarak oluşturulan iskelet modeli, kemik uç noktalarının Kartezyen koordinatlarını içermektedir. Bu koordinatlara göre Kinect eklem noktaları arasında tanımlı her vücut parçası, 3B uzayda başlangıcı ve bitişi belli olan birer pozisyon vektörü olarak ele alınmıştır.



Şekil 4.10. Kinect eksen takımı ve iskelet modeli

Gövde – Uzak, NAO robotun gövdesinde oluşturulmuş referans bir eksen takımını ifade etmektedir [32]. Şekil 4.11’den de anlaşılacağı gibi koordinat sistemine ait x, y eksenleri sırasıyla robotun ileri ve sağ-sol yönleri doğrultusundadır. Geriye kalan z eksenini ise, yukarı yönü göstermektedir.



Şekil 4.11. Gövde – Uzak eksen takımı [33].

Yukarıdaki şekillerden de anlaşılacağı gibi Kinect eksen takımında tanımlı herhangi bir vektörün bire bir olarak Gövde – Uzak eksen takımında karşılığı yoktur. Bu yüzden aşağıdaki dönüşüm denklemi kullanılmıştır [19].

$$\vec{a}_{s,f} = \underline{A} \cdot (\vec{a}_f - \vec{a}_s) \text{ ve } s, f \in \{0, 1, 2, \dots, 19\} \quad (4.27)$$

Kinect koordinat sisteminden Gövde – Uzak koordinat sistemine dönüşümün sağlandığı bu denklemde:

$\vec{a}_f$: Algılayıcı eksen takımında tanımlanan pozisyon vektörünün bitiş noktası ve aynı zamanda Kinect eklem noktalarından biridir.

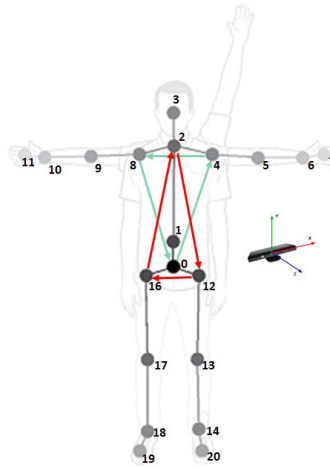
$\vec{a}_s$: Algılayıcı eksen takımında tanımlanan pozisyon vektörünün başlangıç noktası ve aynı zamanda Kinect eklem noktalarından biridir.

$\underline{A}$: Dönüşüm matrisi.

$\vec{a}_{s,f}$: Algılayıcı eksen takımında $\vec{r}_s$ başlangıç ve $\vec{r}_f$ bitiş noktaları arasında tanımlı pozisyon vektörünün Gövde – Uzak eksen takımındaki karşılığıdır. Bundan sonraki kısımlarda Gövde – Uzak eksen takımındaki vektörlerin Kinect eksen takımındakiler ile

karıştırılmaması için Gövde – Uzay sisteminde tanımlı vektörler küçük koyu karakterler ile ifade edilmiştir.

İskelet modeli üzerinde referans koordinat sisteminin ve buna bağlı olarak dönüşüm matrisinin oluşturulması için Kinect eklem noktalarından oluşan üçgenler kullanılmıştır. Seçilen üçgenlere göre oluşturulan gövdeler aşağıdaki şekilde farklı renklerle gösterilmektedir. Tercih edilen gövdeye göre iskelet modeli üzerinde referans bir koordinat sistemi belirlenmiş ve ilgili açı hesabına geçilmiştir.



Şekil 4.12. Referans alınan gövdeler

Çalışmasında, omuzlar ve kalça merkezi eklem noktalarından oluşan yeşil renkteki üçgen gövdeyi kullanmayı seçen Manasrah A. A.'nın aksine bu çalışmada omuz merkezi ve kalçalar arasında oluşturulan kırmızı renkli üçgen, gövde olarak kullanılmıştır. Franz S. ve arkadaşlarının Kinect kullanarak insan hareketlerini analiz ettiği çalışmaya göre yapılan uygulamalar sonucu $\Delta \vec{a}_2 \vec{a}_{12} \vec{a}_{16}$ üçgeninin daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sonuçların, $\Delta \vec{a}_0 \vec{a}_4 \vec{a}_8$ üçgenine göre daha iyi çıkması, kalça eklem noktalarının omuz eklem noktalarına göre daha az hareketli olmasından kaynaklanmaktadır.

Kol eklem açı hesabına geçilmeden önce iskelet modeli üzerinde seçilen üçgen gövdeye göre referans koordinat sistemi belirlenmiştir. Buna göre $\vec{u}_{12,16}$ ve $\vec{u}_{2,16}$ birim vektörlerinin vektörel çarpımları sonucu oluşan $\vec{z}$ eksenine ait formül aşağıdaki gibidir.

$$\vec{u}_{12_16} = \frac{(\vec{a}_{16} - \vec{a}_{12})}{|\vec{a}_{16} - \vec{a}_{12}|} \quad (4.28a)$$

$$\vec{u}_{2_16} = \frac{(\vec{a}_{16} - \vec{a}_2)}{|\vec{a}_{16} - \vec{a}_2|} \quad (4.28b)$$

$$\vec{z} = \frac{(\vec{a}_{16} - \vec{a}_{12}) \times (\vec{a}_{16} - \vec{a}_2)}{|\vec{a}_{16} - \vec{a}_{12}| |\vec{a}_{16} - \vec{a}_2|} \quad (4.28)$$

Yatay eksen olarak kabul edilen $\vec{x}$, kalça eklemleri arasında tanımlanmıştır.

$$\vec{x} = \frac{(\vec{a}_{16} - \vec{a}_{12})}{|\vec{a}_{16} - \vec{a}_{12}|} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \quad (4.29)$$

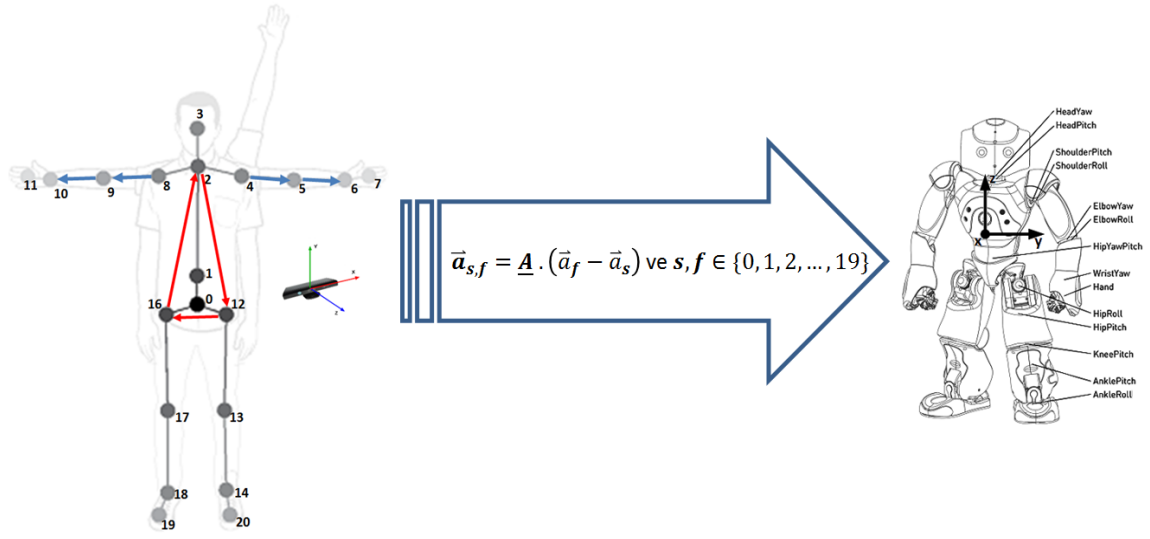
$\vec{y}$ eksen, $\vec{z}$ ve $\vec{x}$ eksenlerinin oluşturduğu düzleme dik olacak şekilde aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\vec{y} = \vec{z} \times \vec{x} \quad (4.30)$$

Oluşturulan referans koordinat sistem bileşenlerinden meydana gelen **A** dönüşüm matrisi, Denklem 4.31’de verilmiştir.

$$\underline{\underline{A}} = \begin{pmatrix} \frac{\vec{x} \cdot \vec{x}}{|\vec{x} \cdot \vec{x}|} & \frac{\vec{x} \cdot \vec{y}}{|\vec{x} \cdot \vec{y}|} & \frac{\vec{x} \cdot \vec{z}}{|\vec{x} \cdot \vec{z}|} \\ \frac{\vec{y} \cdot \vec{x}}{|\vec{y} \cdot \vec{x}|} & \frac{\vec{y} \cdot \vec{y}}{|\vec{y} \cdot \vec{y}|} & \frac{\vec{y} \cdot \vec{z}}{|\vec{y} \cdot \vec{z}|} \\ \frac{\vec{z} \cdot \vec{x}}{|\vec{z} \cdot \vec{x}|} & \frac{\vec{z} \cdot \vec{y}}{|\vec{z} \cdot \vec{y}|} & \frac{\vec{z} \cdot \vec{z}}{|\vec{z} \cdot \vec{z}|} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix} \quad (4.31)$$

A matrisi oluşturulduktan sonra aşağıdaki şekilde mavi renk ile gösterilen vektörlerin Gövde – Uzay eksen takımındaki karşılıkları Denklem 4.32 – 4.35’deki gibi hesaplanmıştır.



Şekil 4.13. Vektör dönüşümü

İskelet model üzerinde tanımlı yukarıdaki vektörlerin Gövde – Uzay eksen takımındaki karşılıkları aşağıdaki gibi bulunduktan sonra NAO kol eklemlerine ait açı hesabına geçilmiştir.

$$\vec{a}_{4,5} = \underline{A} \cdot (\vec{a}_5 - \vec{a}_4) \quad (4.32)$$

$$\vec{a}_{5,6} = \underline{A} \cdot (\vec{a}_6 - \vec{a}_5) \quad (4.33)$$

$$\vec{a}_{8,9} = \underline{A} \cdot (\vec{a}_9 - \vec{a}_8) \quad (4.34)$$

$$\vec{a}_{9,10} = \underline{A} \cdot (\vec{a}_{10} - \vec{a}_9) \quad (4.35)$$

Sırasıyla $\vec{a}_{4,5}$ ve $\vec{a}_{5,6}$ vektörlerine denk gelen sol üst ve sol ön kol arasındaki sol dirsek roll açısı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$LElbowRoll = -\cos^{-1} \left(\frac{\vec{a}_{4,5} \cdot \vec{a}_{5,6}}{|\vec{a}_{4,5}| \cdot |\vec{a}_{5,6}|} \right) \quad (4.36)$$

Sol üst kol vektörü ile $\vec{y} - \vec{z}$ düzlemine dik vektör arasında tanımlı sol omuz roll açısı Denklem 4.37 ile verilmiştir.

$$LShoulderRoll = -\left(\frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{(\vec{y} \times \vec{z}) \cdot \vec{a}_{4,5}}{|\vec{y} \times \vec{z}| \cdot |\vec{a}_{4,5}|} \right) \right) \quad (4.37)$$

Sol üst kolun aşağı ve yukarı yönlü hareketine izin veren omuz pitch açısı, sol kol için aşağıdaki gibidir.

$$\vec{a}_{4,5} = \begin{pmatrix} a_{1_left} \\ a_{2_left} \\ a_{3_left} \end{pmatrix} \quad (4.38a)$$

$$LShoulderPitch = \tan^{-1} \left(\frac{a_{3_left}}{a_{1_left}} \right) \quad (4.38)$$

Ön kolun üst kol etrafındaki dönme hareketi ile tanımlanan dirsek yaw açısının hesabı oldukça karışıktır. Üst kolun yaw ve pitch açılarının da etkili olduğu sol dirsek yaw açısının hesabı için, $\vec{z}$ eksenine paralel bir $\vec{a}_{left}$ vektörü ve $\vec{z}$ ekseninin sırasıyla LShoulderPitch (β) ve LShoulderRoll (θ) açıları kadar $\vec{x}$ ve $\vec{y}$ eksenlerinde döndürülmesiyle oluşturulan bir $\vec{b}_{left}$ vektörü kullanılmıştır.

$$\vec{a}_{left} = \frac{\vec{a}_{4,5} \times \vec{a}_{5,6}}{|\vec{a}_{4,5} \times \vec{a}_{5,6}|} \quad (4.39a)$$

$$\vec{b}_{left} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{pmatrix} \cdot \vec{z} \quad (4.39b)$$

Sol üst ve ön kolun vektörel çarpımları sonucu oluşturulan $\vec{a}_{left}$ ile $\vec{z}$ vektörünün $\vec{x}$, $\vec{y}$ eksenleri etrafında döndürülmesiyle elde edilen $\vec{b}_{left}$ gibi iki vektör arasındaki açıdan meydana gelen sol dirsek yaw açısı, Denklem 4.39'daki gibi hesaplanmaktadır [19].

$$LElbowYaw = \left(\frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{\vec{b}_{left} \cdot \vec{a}_{left}}{|\vec{b}_{left}| \cdot |\vec{a}_{left}|} \right) \right) \quad (4.39)$$

Sol kol eklem açılarına ait yukarıda verilen denklemlere benzer şekilde sağ kol eklem açıları, aşağıda gösterildiği gibidir. RShoulderPitch ve RShoulderRoll açıları, sırasıyla, γ ve ϕ ile ifade edilmektedir.

$$RElbowRoll = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{a}_{8,9} \cdot \vec{a}_{9,10}}{|\vec{a}_{8,9}| \cdot |\vec{a}_{9,10}|} \right) \quad (4.40)$$

$$RShoulderRoll = - \left(\frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{(\vec{y} \times \vec{z}) \cdot \vec{a}_{8,9}}{|\vec{y} \times \vec{z}| \cdot |\vec{a}_{8,9}|} \right) \right) \quad (4.41)$$

$$\vec{a}_{8,9} = \begin{pmatrix} a_{1_right} \\ a_{2_right} \\ a_{3_right} \end{pmatrix} \quad (4.42a)$$

$$RShoulderPitch = -\tan^{-1} \left(\frac{a_{3_right}}{a_{1_right}} \right) \quad (4.42)$$

$$\vec{b}_{right} = \begin{pmatrix} \cos(\Phi) & -\sin(\Phi) & 0 \\ \sin(\Phi) & \cos(\Phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\gamma) & 0 & \sin(\gamma) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\gamma) & 0 & \cos(\gamma) \end{pmatrix} \cdot \vec{z} \quad (4.43a)$$

$$\vec{a}_{right} = \frac{\vec{a}_{8,9} \times \vec{a}_{9,10}}{|\vec{a}_{8,9} \times \vec{a}_{9,10}|} \quad (4.43b)$$

$$RElbowYaw = \left(\frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{\vec{b}_{right} \cdot \vec{a}_{right}}{|\vec{b}_{right}| \cdot |\vec{a}_{right}|} \right) \right) \quad (4.43)$$

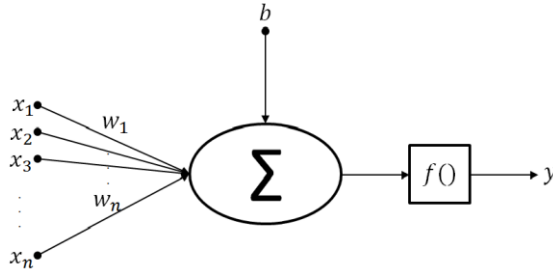
Hesaplanan açıların robota aktarılması için NAOqi.Net SDK kullanılmıştır.

5. YAPAY ÖĞRENME ALGORTİMALARI

Çalışmanın bu bölümünde YSA tanıtılarak, geliştirilen hareket tanıma algoritması için uygulanan GYA ve AÖM yöntemlerinden bahsedilmektedir.

5.1. Yapay Sinir Ağları

YSA, insan beyninin basitleştirilmiş bir modelidir. Nöron adı verilen işlem elemanları ve ağırlık parametrelerinden oluşmaktadır. Nöronlar, kendi aralarında giriş, çıkış ve gizli olmak üzere üç tipe ayrılır. İsimlerinden de anlaşılacağı gibi giriş, çıkış nöronları sırasıyla ağa veri giriş ve çıkışını sağlayan nöronlardır. Ağ içerisindeki ara katmanı oluşturan gizli nöronlar ise giriş çıkış arasındaki veri iletişiminden sorumludur [34]. Şekil 5.1’de gösterilen YSA modeli, aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir.



Şekil 5.1. Standart YSA modeli

x : $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ sıralılarından oluşan ağ girişidir.

w : $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ sıralılarından oluşan ağırlık parametreleridir.

b : Giriş değeri 1 olan ağırlık parametresi olarak düşünülebilir. Eşik değer ya da bias olarak adlandırılır.

Σ : Toplam fonksiyonudur.

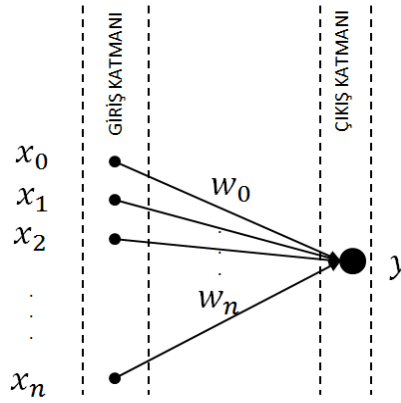
$f()$: Aktivasyon fonksiyonudur.

y : YSA çıkışıdır.

$$y = f \left[\sum_{k=1}^n x_k w_k + b_k \right] \quad (5.1)$$

5.1.1. Tek Katmanlı YSA

Giriş katmanı, bir sonraki katman içindeki her bir nörona ağırlıklar tarafından değiştirilmiş girişleri göndermektedir. Bir sonraki katman; ara katman ya da çıkış katmanı olabilmektedir. Şekil 5.2’de gösterildiği gibi tek katmanlı YSA, ara katmanı bulunmayan sadece giriş, çıkış katmanlarından oluşan bir ağ modelidir [35].

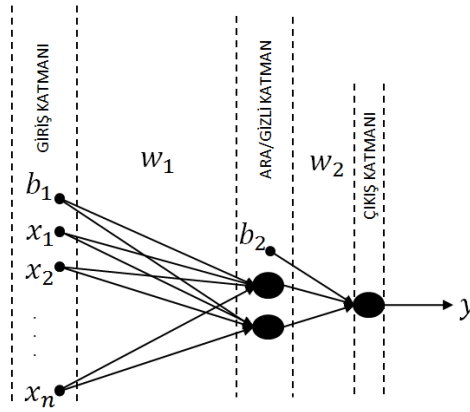


Şekil 5.2. Tek katmanlı YSA

Yukarıdaki ağ modelinde bias, değeri 1’e eşit olan x_0 girişi ile ifade edilmiştir.

5.1.2. Çok Katmanlı YSA

Bir veya daha fazla ara katmana sahip olan ağların genel adıdır. Bu ağlarda gizli katmanların her biri için aynı aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Ara katmanlarda genellikle doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları tercih edilirken çıkışlarda doğrusal aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır [36]. Bu yapıdaki ağ modelini gösteren örnek bir şekil aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.3. Çok katmanlı YSA

5.1.3. Geriye Yayılım Yöntemi

Geriye yayılım, çok katmanlı YSA'ların ağırlık parametrelerini, tekrarlı olarak belirlemek için genel bir yöntemdir. Küçük öğrenme oranlarına karşılık iyi bir performans sergilemesine rağmen öğrenme süresi çok uzundur. GYA'yı elde etmek için aktivasyon fonksiyonlarının türevleri kullanılmaktadır. Tablo 5.1'de bazı aktivasyon fonksiyonlarının türev ifadelerine yer verilmiştir. Eğim parametresi olarak bilinen α genellikle 1 seçilmektedir.

Tablo 5.1. Aktivasyon fonksiyonları

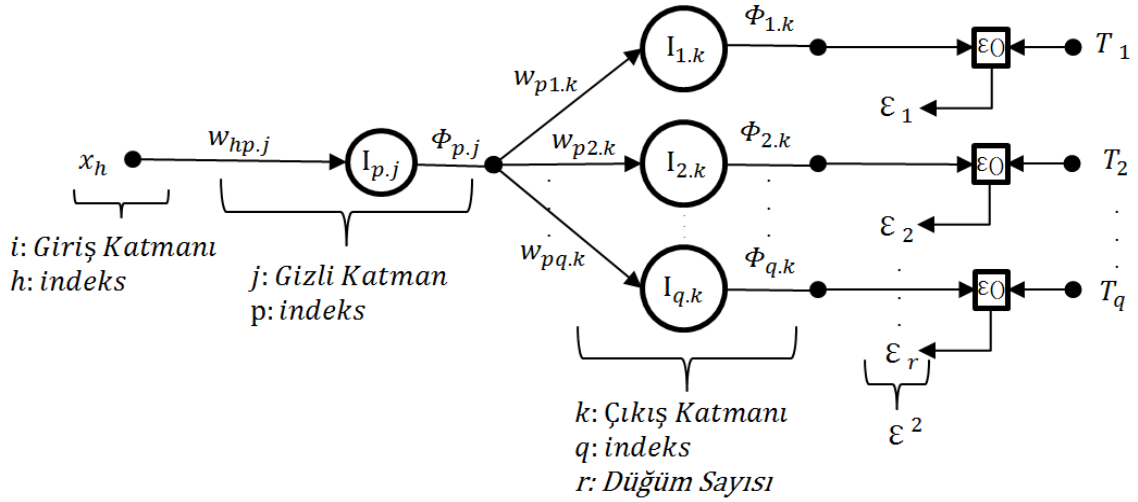
Fonksiyon İsim	$\Phi(I)$	$\dot{\Phi}(I)$
Lineer	I	1
Lojistik	$\Phi(I) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha I}}$	$\alpha \Phi(I)(1 - \Phi(I))$
Hiperbolik Tanjant	$\frac{e^{\alpha I} - e^{-\alpha I}}{e^{\alpha I} + e^{-\alpha I}}$	$\alpha(1 - \Phi(I)^2)$

GYA'nın amacı, seçilen amaç fonksiyonunu en aza indirmektir. En çok kullanılan amaç fonksiyonlarından biri, Denklem 5.2'de verilen hataların karesidir. Bu fonksiyonlar literatürde amaç ölçütü olarak da geçmektedir.

$$\varepsilon^2 = [T_q - \Phi_{qk}]^2 \quad (5.2)$$

5.1.4 Geriye Yayılım ile Ağırlıkların Yenilenmesi

Bu bölümde çok katmanlı bir YSA modeline, geriye yayılım öğrenme algoritmasının nasıl uygulanacağı anlatılmaktadır.



Şekil 5.4. Çok katmanlı YSA modeli için geriye yayılım algoritması

x : Ağ girişleri

T : Sistem çıkışı/Hedef değerler

w : Ağırlıklar

I : Aktivasyon fonksiyonu

Φ : Nöron/Ağ çıkışı

ε : Hata

GYA'da amaç ölçütünün bir katmandaki ağırlığa göre doğru eğiminin hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle, ağ çıkışındaki hata sinyali, katmanlardan geriye doğru yayılır [37, 38]. Yukarıdaki şekilde YSA'daki herhangi bir yolun akış şeması verilmiştir. Buna göre, amaç ölçütünün, çıkış katmanındaki bir ağırlığa göre eğimi, zincir kuralına göre kısmi türevler ile belirlenebilmektedir. Aşağıdaki Denklem 5.3 ile belirtilen türevler her bir katmanı lojistik aktivasyon fonksiyonuna sahip tek ara katmanlı bir ağın türevleridir.

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial w_{pq,k}} = \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial \Phi_{q,k}} \cdot \frac{\partial \Phi_{q,k}}{\partial I_{q,k}} \cdot \frac{\partial I_{q,k}}{\partial w_{pq,k}} \quad (5.3)$$

$$\delta_{pq,k} = \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial \Phi_{q,k}} \cdot \frac{\partial \Phi_{q,k}}{\partial I_{q,k}} = 2[T_q - \Phi_{q,k}](-1) \cdot \Phi_{q,k} [1 - \Phi_{q,k}] \quad (5.3a)$$

$$\Phi_{p,j} = \frac{\partial I_{q,k}}{\partial w_{pq,k}} \quad (5.3b)$$

$$\begin{aligned} \Delta w_{pq,k} &= -\eta_{p,q} \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial w_{pq,k}} \\ &= -\eta_{p,q} \cdot \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \Phi_{q,k}} \cdot \frac{\partial \Phi_{q,k}}{\partial I_{q,k}} \cdot \frac{\partial I_{q,k}}{\partial w_{pq,k}} \\ &= -\eta_{p,q} \cdot (-2)[T_q - \Phi_{q,k}] \cdot \Phi_{q,k} [1 - \Phi_{q,k}] \cdot \Phi_{p,j} \\ &= -\eta_{p,q} \cdot \delta_{pq,k} \cdot \Phi_{p,j} \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$w_{pq,k}(N+1) = w_{pq,k}(N) - \eta_{p,q} \cdot \delta_{pq,k} \cdot \Phi_{p,j} \quad (5.5)$$

$\eta_{p,q}$: Öğrenme oranı

$\delta_{pq,k}$: Çıkış katmanının yöresel hatası

$\Delta w_{pq,k}$: Çıkış katmanındaki ağırlıklara uygulanacak düzeltme

$w_{pq,k}(N+1)$: Yeni ağırlıklar

Denklem 5.3-5.5'e benzer şekilde ara katman ağırlıklarına uygulanacak düzeltme ve yeni ağırlıklar aşağıdaki formüller ile ifade edildiği gibidir.

$$\begin{aligned} \Delta w_{hp,j} &= -\eta_{h,p} \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial w_{hp,j}} \\ &= -\eta_{h,p} \sum_{q=1}^r \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial w_{hp,j}} \\ &= -\eta_{h,p} \sum_{q=1}^r \cdot \frac{\partial \varepsilon_q^2}{\partial \Phi_{q,k}} \cdot \frac{\partial \Phi_{q,k}}{\partial I_{q,k}} \cdot \frac{\partial I_{q,k}}{\partial \Phi_{p,j}} \dots \frac{\partial \Phi_{p,j}}{\partial I_{p,j}} \cdot \frac{\partial I_{p,j}}{\partial w_{hp,j}} \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_q^2}{\partial \Phi_{q,k}} = (-2)[T_q - \Phi_{q,k}] \quad (5.7)$$

$$\frac{\partial \Phi_{q,k}}{\partial I_{q,k}} = \alpha \Phi_{q,k} [1 - \Phi_{q,k}] \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial I_{q,k}}{\partial \Phi_{p,j}} = w_{pq,k} \quad (5.9)$$

$$\frac{\partial \Phi_{p,j}}{\partial I_{p,j}} = \alpha \Phi_{p,j} [1 - \Phi_{p,j}] \quad (5.10)$$

$$\frac{\partial I_{p,j}}{\partial w_{hp,j}} = x_h \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{E}^2}{\partial w_{hp,j}} &= \sum_{q=1}^r (-2) [T_q - \Phi_{q,k}] \cdot \alpha \Phi_{q,k} [1 - \Phi_{q,k}] \cdot w_{pq,k} \cdot \alpha \Phi_{p,j} [1 - \Phi_{p,j}] x_h \\ &= \sum_{q=1}^r \delta_{pq,k} \cdot w_{pq,k} \cdot \alpha \Phi_{p,j} [1 - \Phi_{p,j}] x_h \end{aligned} \quad (5.12)$$

$$\delta_{hp,j} = \delta_{pq,k} w_{pq,k} \frac{\partial \Phi_{p,j}}{\partial I_{p,j}} \quad (5.13)$$

$$w_{hp,j}(N+1) = w_{hp,j}(N) - \eta_{hp} x_h \delta_{hp,j} \quad (5.14)$$

5.2. Aşırı Öğrenme Makinaları

Bu bölümde 2006'da Huang ve arkadaşları tarafından geliştirilen AÖM anlatılmaktadır. AÖM, giriş ağırlıkları rastgele çıkış ağırlıkları ise analitik olarak hesaplanan tek gizli katmanlı ileri beslemeli bir YSA modelidir. AÖM'nin gizli katmanında sigmodial, sine, guassian ve hard-limitin gibi aktivasyon fonksiyonları kullanılırken çıkış katmanında doğrusal fonksiyonlar kullanılmaktadır [6-8]. AÖM'de türevlenemeyen veya süreksiz kesikli aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Bu modelin en önemli özelliği öğrenme sürecinin çok hızlı gerçekleşmesidir.

Geleneksel ileri beslemeli YSA'da eşik değer ve ağırlıklar gibi parametreler genellikle GYA tabanlı öğrenme algoritmaları ile güncellenmektedir. Ancak iyi bir performans alınması açısından parametrelerin yenilenme yani öğrenme süreci zaman alabilmekte ve hata yerel bir noktaya takılabilmektedir. Momentum değerinin değiştirilmesi belki hatanın yerel bir noktaya takılmasını engelleyebilir ancak öğrenme sürecini düşürmeyecektir. Tek gizli katmanlı ileri beslemeli bir ağda giriş-çıkış ağırlıkları ile eşik değerler ağırlık performansını etkilememektedir. AÖM'de giriş ağırlıkları ve eşik değerler rastgele üretilirken çıkış ağırlıkları hesaplanmaktadır. Bu yüzden, bazı uygulamalar için geleneksel

yöntemlere göre daha hızlı olan AÖM'dan daha iyi bir performans elde edilmektedir. AÖM ağı, tek gizli katmanlı ileri beslemeli bir YSA modelinin özelleştirilmiş halidir.

$X=(x_1, x_2, \dots, x_N)$ giriş ve Y çıkış özelliklerini belirtmek üzere, gizli katmanında M nörona sahip ağın matematiksel ifadesi Denklem 5.15'te verilmektedir.

$$\sum_{i=1}^M \beta_i g(W_i X_k + b_i) = O_k \quad k = 1, 2 \dots N \quad (5.15)$$

Formülde $W_i=(W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{iN})$ giriş katmanındaki, $\beta_i=(\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{iN})$ çıkış katmanındaki ağırlıkları, b_i gizli katman nöronlarının eşik değerlerini ve O_k çıkış değerlerini ifade etmektedir. $g(.)$ aktivasyon fonksiyonudur. Yapay sinir ağlarının hepsinde olduğu gibi buradakinde de amaç, amaç ölçütünün en aza indirgenmesidir. Denklem (5.15), aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$H\beta = Y \quad (5.16)$$

H , β ve Y denklem bileşenleri matrisler halinde aşağıda gösterildiği gibidir.

$$H(W_1 \dots W_M; b_1 \dots b_M; X_1 \dots X_N) = \begin{bmatrix} g(W_1 X_1 + b_1) & \dots & g(W_M X_1 + b_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g(W_1 X_N + b_1) & \dots & g(W_M X_N + b_M) \end{bmatrix} \quad (5.16a)$$

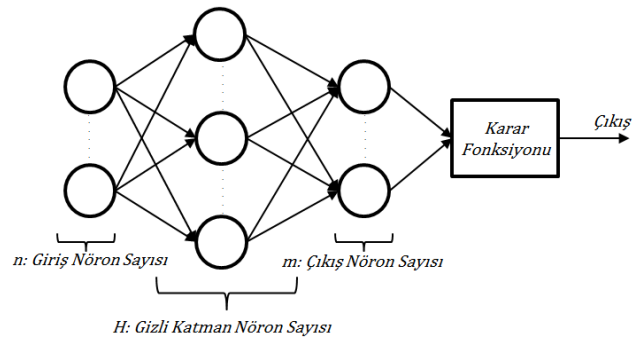
$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_M^T \end{bmatrix} \quad (5.16b)$$

$$Y = \begin{bmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_M^T \end{bmatrix} \quad (5.16c)$$

Burada H gizli katman çıkış matrisidir. AÖM' de giriş ağırlıkları $W_i=(W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{iN})$ ve b_i gizli katman nöronlarının eşik değerleri rastgele üretilmekte ve H gizli katman çıkış matrisi analitik olarak elde edilmektedir. Geleneksel ileri beslemeli bir ağın eğitilmesi, AÖM için $H\beta=Y$ doğrusal denkleminde en küçük kareler çözümünün aranmasıdır. AÖM algoritması, aşamalar halinde aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Adım : $W_i=(W_{i1}W_{i2}, \dots, W_{iN})$ giriş ağırlıkları ve gizli katman b_i eşik değerleri rastgele üretilmektedir.
2. Adım : H gizli katman çıkışları hesaplanmaktadır.
3. Adım : β_i çıkış ağırlıkları $\beta_i=H+Y$ eşitliğine göre hesaplanmaktadır. Y hedef özelliştir.

Şekil 5.5'te ağ yapısı gösterilen aşırı öğrenme makinaları genel olarak hızlıdır ve burada klasik yapay sinir ağlarındaki öğrenme oranı, momentum katsayısı gibi parametrelere ihtiyaç duyulmamaktadır.



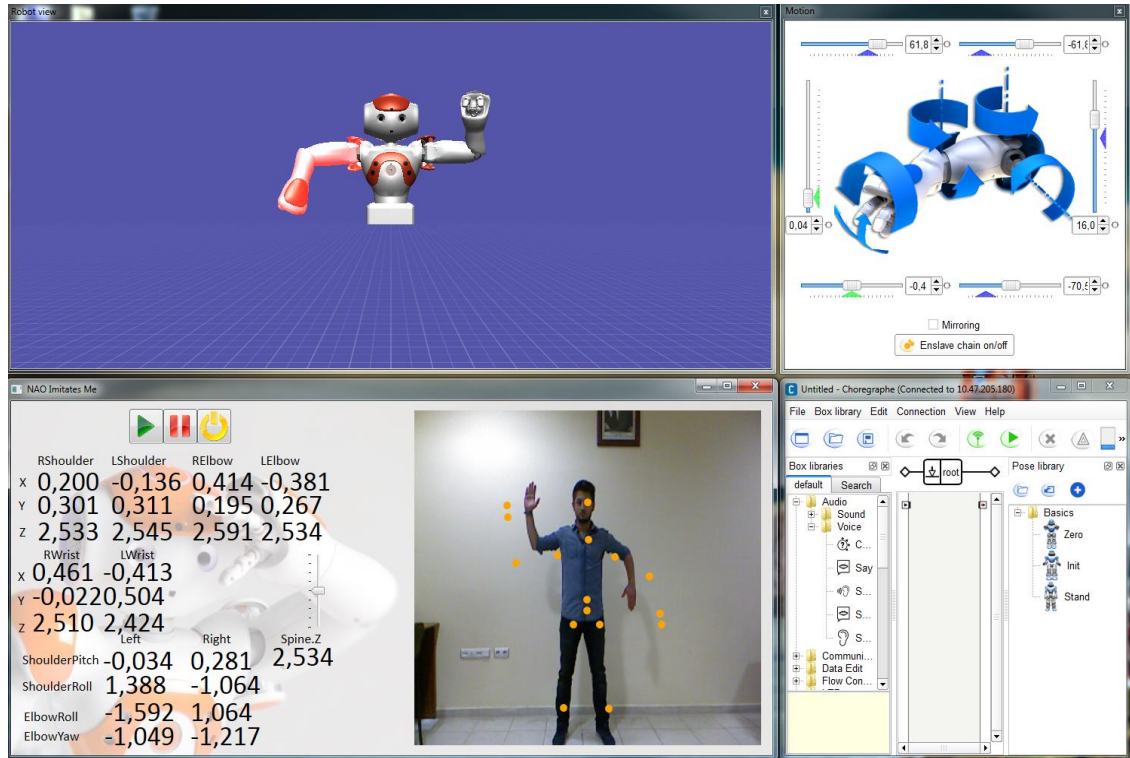
Şekil 5.5. AÖM yapısı [5].

6. UYGULAMALAR

6.1. Taklit Uygulaması Sonuç ve Önerileri

Aşağıdaki şekil, sınıflandırma uygulamasındaki algılayıcı konumu değiştirilmeden elde edilmiş olsa da taklit uygulaması, farklı mesafeler için de başarılı sonuçlar vermektedir. Uygulama arayüzü, şeklin sol alt köşesinde gösterildiği gibidir. Şeklin sol üst köşesinde gerçek robotun Choregraphe programındaki görüntüsü yer almaktadır. Sırasıyla sağ alt ve üst kısımda ise Choregraphe programına ait arayüz ve robotun sağ kol eklem açıları gösterilmektedir. Uygulama ekran görüntüsünde yer alan kullanıcıdan zaman ve zaman dilimi gözetilmeksizin bir takım hareketleri yapması istenmiş ve robotun da aynı hareketleri kullanıcı ile birlikte eş zamanlı olarak yaptığı tespit edilmiştir.

Uygulama arayüzündeki ekran görüntüsünün yanında, kullanıcı kol eklem noktalarının pozisyon bilgileri ve bu pozisyon bilgilerinden elde edilen açı değerleri radyan olarak ifade edilmektedir.



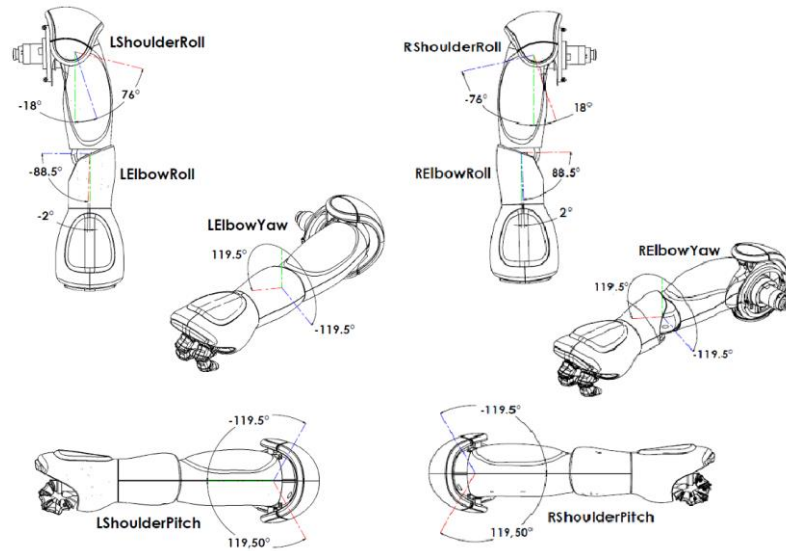
Şekil 6.1. Uygulama arayüzü

Robotun gerçekleştirebildiği hareketler, serbestlik derecelerine bağlı olarak belirli sınırlamalar ile kısıtlıdır. Sağlıklı bir insan kolu 7 adet serbestlik derecesine sahipken NAO robot kolu, 6 adet serbestlik derecesini desteklemektedir. Sadece bu örnekten yola çıkılarak yapılan her hareketlerin robot üzerinde bire bir olarak gerçekleştirilemeyeceği açıktır [19]. Dahası, uygulama esnasında robotun zarar görmesini engellemek için aktarılan açı değerlerine belirli sınırlamalar getirilebilir. Aşağıda tablo ve şekiller ile birlikte verilen sınırlamalara bakılacak olursa açı değerleriyle ilgili hareketler daha kolay anlaşılacaktır.

Tablo 6.1. Açı sınırları

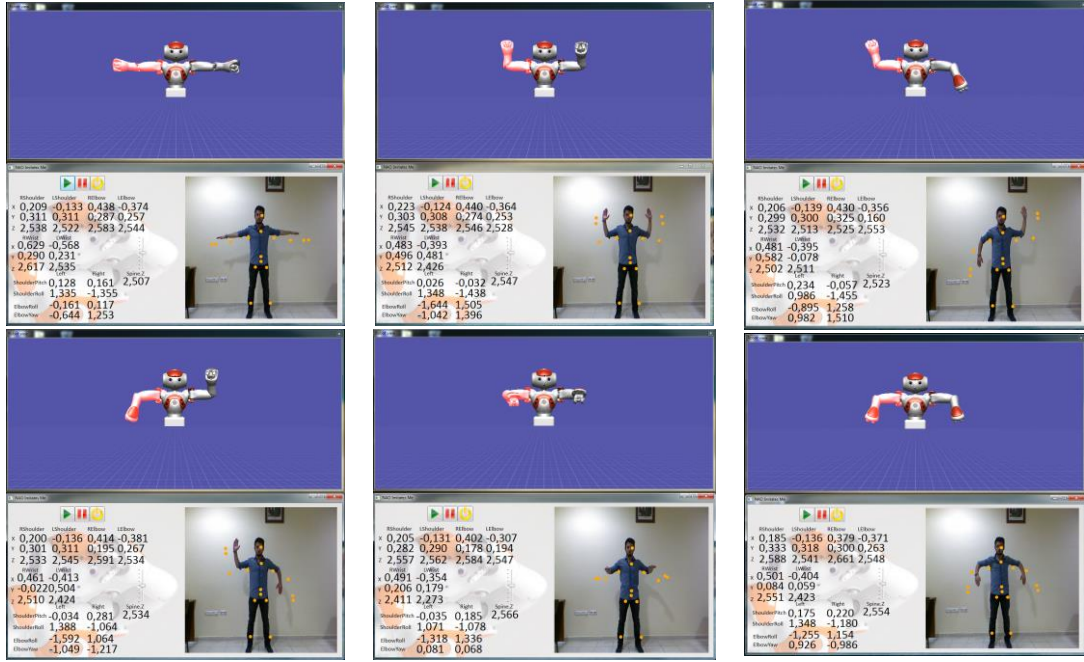
Sol Kol Açıları	Aralık (radyan)	Sağ Kol Açıları	Aralık (radyan)
LShoulderPitch	-2.0857 – 2.0857	RShoulderPitch	-2.0857 – 2.0857
LShoulderRoll	-0.3142 – 1.3242	RShoulderRoll	-1.3265 – 0.3142
LElbowYaw	-2.0857 – 2.0857	RElbowYaw	-2.0857 – 2.0857
LElbowRoll	-1.8238 – 1.8238	RElbowRoll	-1.8238 – 1.8238

Tablodaki radyan değerlerine karşılık gelen açılar, derece cinsinden Şekil 6.2’de verilmiştir [39].



Şekil 6.2. Açı değerlerine karşılık gelen hareket yönleri [39].

Yukarıda uygulama örneği olarak verilen hareketin dışında, kullanıcıdan 5 farklı hareket daha yapması istenmiş ve hareketlere ait veriler kayıt altına alınmıştır. Yapılan hareketler ile ilgili uygulama arayüzleri ve veriler, tablo ve resimler olarak aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Uygulama arayüzleri

Yukarıdaki kullanıcıdan elde edilen açı değerleri ile tanımlanan hareketlere ait veriler Tablo 6.2'deki gibidir. Bunun dışında, yine aynı 6 hareket için 10 farklı kişiden elde edilen hareket verilerine ait tablo, Ek-1'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Açılar tanımladığı hareketler

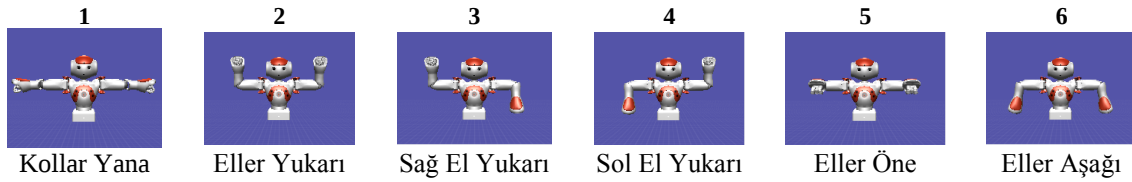
Hareket						
Açı						
LShoulderPitch	0.128	0.026	0.234	-0.034	-0.035	0.175
LShoulderRoll	1.335	1.348	0.986	1.388	1.071	1.348
LElbowRoll	-0.161	-1.644	-0.895	-1.592	-1.318	-1.255
LElbowYaw	-0.644	-1.042	0.982	1.049	0.081	0.926
RShoulderPitch	0.161	-0.032	-0.057	0.281	0.185	0.220
RShoulderRoll	-1.335	-1.438	-1.455	-1.064	-1.078	-1.180
RElbowRoll	0.117	1.505	1.258	1.064	1.336	1.154
RElbowYaw	0.253	1.396	1.510	-1.217	0.068	-0.986

Algılayıcı konumu ve mekân değiştirilmeden, hareket verilerinin toplanması esnasında kullanıcı arkasındaki duvara vuran gölgelerin, kullanıcıyla eş zamanlı olarak yapılan robot hareketlerini olumsuz yönde etkilediği fark edilmiştir. Bu yüzden Kinect kullanılarak yapılacak çalışmalarda zaman dilimine, arka fon rengine, ışık yönü ve şiddetine dikkat edilmelidir.

Çalışmada kullanılan Kinect algılayıcının, parmak hareketleri ile el ve üst kolun dönmesinden kaynaklı hareketleri takip edememesi, belirli hareketlerle sınırlı kalınmasına neden olmuştur. Kafa hareketlerinin de henüz yapılamadığı çalışmanın ileriki aşamalarında, yeni nesil 3B algılayıcılar ve farklı robot modelleri kullanılarak hareket çeşitliliğinin artırılması düşünülmektedir.

6.2. İnsan Hareketlerini Tanıma Uygulaması Sonuç ve Önerileri

Bu bölümde ilk olarak, hareket tanıma uygulaması için 9 adet kullanıcıdan aşağıdaki şekilde gösterilen hareketleri onar defa yapması istenmiş ve taklit uygulaması için geliştirilen dönüşüm algoritması sayesinde elde edilen eklem açıları (LShoulderPitch, LShoulderRoll, LElbowRoll, LElbowYaw, RShoulderPitch, RShoulderRoll, RElbowRoll, RElbowYaw) kullanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Kinect algılayıcı, kullanıcılardan 2.45m uzağa ve yerden 1.04m yükseğe, yere paralel olacak şekilde 0°'lik açı ile konumlandırılmıştır. Toplanan hareket verileri, tablolar halinde ekte sunulmaktadır.

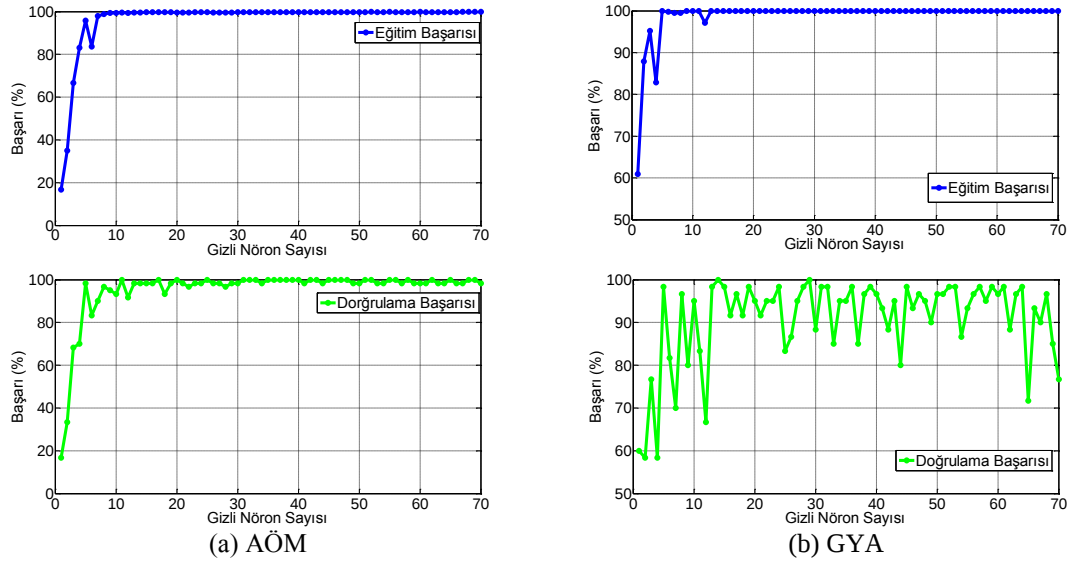


Şekil 6.4. Hareket numara ve isimleri

Her iki hareket tanıma yöntemi için ilk 7 kullanıcıdan alınan açı değerleri, eğitim verilerini, 8. kullanıcıdan alınan açı değerleri, doğrulama verilerini ve son kullanıcıdan alınan açı değerleri ise test verilerini oluşturmaktadır. Çıkış, 8 adet açı girişine karşılık 6 farklı hareket sınıfından biridir. Her bir hareket sınıfı, hareket numaralarına göre isimlendirilmiştir. Veri tabanı oluşturulduktan sonra hareket tanıma uygulaması için, tek gizli katmana sahip çok katmanlı bir YSA modeli üzerinden GYA ve AÖM uygulanmış, alınan sonuçlar grafik ve tablolar halinde verilmiştir.

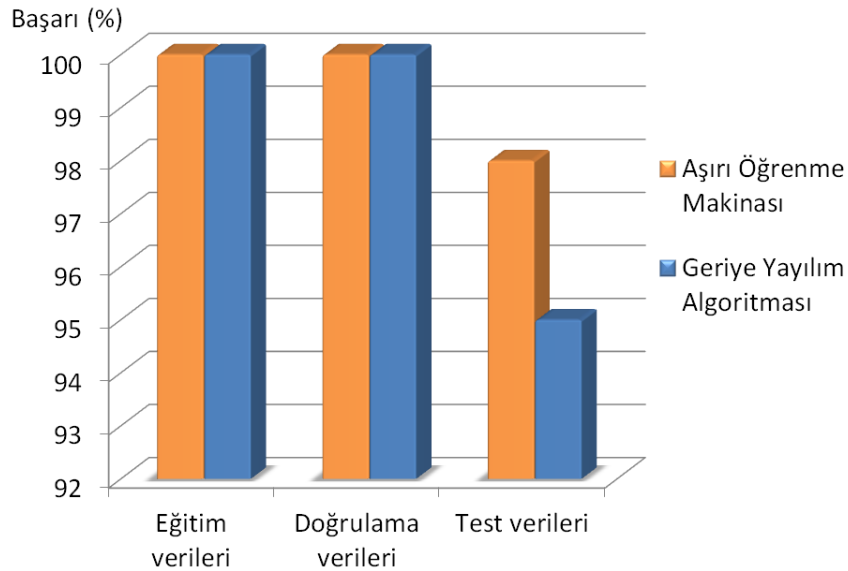
Ara katmandaki nöron sayıları belirlenirken her iki yöntem için gizli katmandaki nöron sayıları, 1'den 70'e kadar birer birer artırılmış ve her nöron sayısına karşılık gelen başarı oranları hesaplanmıştır. Eğitim ve doğrulama veri setlerinin kullanıldığı aşağıdaki

grafiklere göre en yüksek başarı oranları dikkate alınarak, AÖM için gizli katmandaki nöron sayısı 52, GYA için gizli katmandaki nöron sayısı 29 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.5. Gizli nöron sayısının belirlenmesi

Belirlenen gizli katman nöron sayılarına göre eğitim, doğrulama ve test veri setleri üzerindeki başarı oranları aşağıdaki grafikte gösterildiği gibidir.



Şekil 6.6. Başarı oranları sütun grafiği

Başarı oranları sütun grafiğinden anlaşılacağı gibi test veri seti üzerinde, AÖM tabanlı hareket tanıma yaklaşımı GYA tabanlı yaklaşıma göre daha iyi bir performans sergilemektedir. Bunun yanında AÖM modelinin en önemli özelliği, öğrenme sürecinin çok hızlı gerçekleşmesidir. Aşağıdaki tabloda her iki yaklaşım için öğrenme süreleri karşılaştırılmaktadır.

Tablo 6.3. Öğrenme süreleri

Sınıflayıcı		AÖM	GYA
Eğitim Süresi	(s)	0,0156	17,8948
Test Süresi	(s)	0,0048	0,0141
Doğrulama Süresi	(s)	0,0000	0,0137

Her iki yaklaşım için farklı veri setleri üzerindeki başarı oranları ve öğrenme süreleri kıyaslandığında AÖM tabanlı hareket tanıma yaklaşımının daha üstün olduğu anlaşılabacaktır. Görsel olarak da bu üstünlüğün ifade edilmesi açısından aşağıdaki tablolar hazırlanmıştır.

Tablo 6.4. AÖM'nin test veri tabanı üzerindeki performansı

Bilinen Sınıflar	Tahmin Edilen Sınıflar	Kollar Yana	Eller Yukarı	Sağ El Yukarı	Sol El Yukarı	Eller Öne	Eller Aşağı
Kollar Yana		10					
Eller Yukarı			10				
Sağ El Yukarı				10			
Sol El Yukarı					9		1
Eller Öne						10	
Eller Aşağı							10

Yöntem: AÖM / Başarı Oranı: %98 / Örnek Sayısı:10 / Gizli Nöron Sayısı:52

Tablo 6.5. GYA'nın test veri tabanı üzerindeki performansı

Bilinen Sınıflar	Tahmin Edilen Sınıflar	Kollar Yana	Eller Yukarı	Sağ El Yukarı	Sol El Yukarı	Eller Öne	Eller Aşağı
Kollar Yana		10					
Eller Yukarı			9			1	
Sağ El Yukarı				10			
Sol El Yukarı					9		1
Eller Öne						10	
Eller Aşağı					1		9

Yöntem: GYA / Başarı Oranı: %95 / Örnek Sayısı:10 / Gizli Nöron Sayısı:29

Üretilen hareket tanıma performansları da dikkate alınacak olursa, insan hareketlerinin tanınması ile ilgili ileride yapılması düşünülen çalışmalarda ilk tercih olarak AÖM tabanlı bir yaklaşım tercih edilecektir.

Yapay öğrenme algoritmalarının kullanıldığı çalışmanın bu bölümünde, Matlab'ın Neural Network ve System Identification Toolbox'larından faydalanılmıştır.

7. SONUÇLAR

Çalışmada, insan hareketlerinin insansı robotlara öğretilmesi amacıyla iki farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Birinci uygulama, insan-robot etkileşimine dayanan, eş zamanlı bir taklit sisteminden oluşmaktadır. Sistem, insan hareketlerine ait verilerin alınması, işlenmesi ve insansı bir robota aktarılmasından ibarettir. Hareketlerin izlenmesi ve elde edilmesi amacıyla Xbox 360 Kinect algılayıcı kullanılmıştır. Ayrıca kullanıcı hareketlerinin taklit edilmesi için NAO insansı robot tercih edilmiştir. İnsan vücut parçaları, hareket verilerinden oluşan vektörler olarak düşünülmüştür. Daha sonra vücut parçaları arasındaki açılar hesaplanarak NAO insansı robota aktarılmıştır. Geliştirilen taklit uygulaması sonucunda, insan üst vücut hareketleri eş zamanlı olarak NAO insansı robot tarafından başarılı bir şekilde taklit edilmiştir.

İkinci uygulamada, insan üst vücut hareketlerinin tanınmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma için, farklı vücut yapılarına sahip 9 adet kullanıcıdan elde edilen hareket verileriyle bir veri tabanı oluşturulmuş ve bu veri tabanı üzerinden AÖM ve GYA yaklaşımları uygulanarak, hareket tanıma performansları karşılaştırılmıştır. Üretilen performanslara bakıldığında, AÖM tabanlı hareket tanıma uygulamasının daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

Bu tez çalışması altında yapılan uygulamaların, insan-robot etkileşimi ve robot öğrenmesiyle ilgili çalışmalara katkı sağladığı ve sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Şabanoviç, A., Yannier, S.,** 2003. Robotlar: Sosyal Etkileşimli Makineler. TÜBİTAK Bilim Teknik Dergisi.
- [2] **Demir, Y., Uçar, A.,** 2013. Modeling and Simulation with Neural and Fuzzy-Neural Networks of Switched Circuits, The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering COMPEL, 22-2, 253-272.
- [3] **Uçar, A., Demir, Y., Güzeliş, C.,** 2014. A penalty function method for designing efficient robust classifiers with input-space optimal separating surfaces, Turk. J. Elec. Eng. & Comp. Sci. DOI: 10.3906/elk-1301-190.
- [4] **V, Vapnik.,** 2012. The Nature of Statistical Learning Theory, Springer.
- [5] **Uçar, A., Yavşan, E.,** 2014. Behavior learning of memristor - based chaotic circuit by extreme learning machines, Turkish Journal of Electrical Engineering & Compute Sciences, pp.1-37. DOI: 10.3906/elk-1304-248.
- [6] **Huang, GB., Zhu QY., Siew, CK.,** 2006. Real – time learning capability of neural networks, IEEE T Neural Network; 17: 863–878.
- [7] **Huang, GB., Zhu, QY., Siew, CK.,** 2006. Extreme learning machine: theory and applications. Neurocomputing; 70:489–501.
- [8] **Huang, GB., Zhou, H., Ding, X., Zhang R.,** 2012. Extreme learning machine for regression and multiclass classification. IEEE T Syst. Man Cy B, 42: 513–529.
- [9] **Chen, X., Koskela, M.,** 2013. Online RGB-D gesture recognition with extreme learning machines. In Proceedings of the 15th ACM on International conference on multimodal interaction (pp. 467-474). ACM.
- [10] **Uçar, A.,** 2004. Color face recognition based on steerable pyramid transform and extreme learning machines. vol. Article Id: 628494, pp.1-15, 2014.
- [11] **Minhas, R., Baradarani, A., Seifzadeh, S., Jonathan Wu, Q. M.,** 2010. Human action recognition using extreme learning machine based on visual vocabularies. Neurocomputing, 73(10), 1906-1917.
- [12] **Ibañez, R., Soria, Á., Teyseyre, A., & Campo, M.,** 2014. Easy gesture recognition

for Kinect. *Advances in Engineering Software*, 76, 171-180.

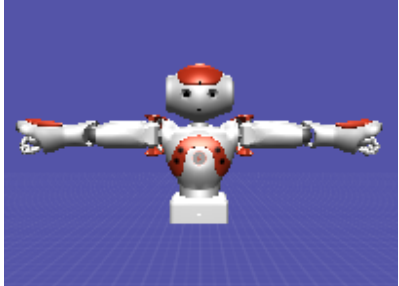
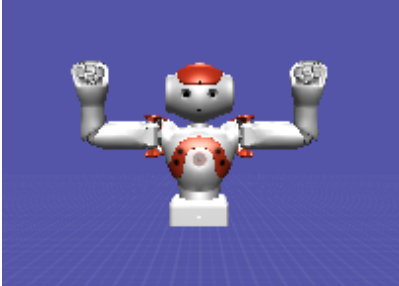
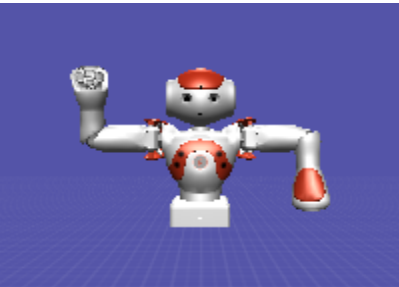
- [13] **Ay, B.**, 2014. Biyomekanik Analiz Tabanlı İnsan Hareketi Tanıma Algoritmalarının Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [14] **Miranda, L., Vieira, T., Martinez, D., Lewiner, T., Vieira, A. W., Campos, M. F. M.**, 2012. Real-time gesture recognition from depth data through key poses learning and decision forests. In *Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)*, 2012 25th SIBGRAPI Conference on (pp. 268-275). IEEE.
- [15] **Lyubova, N., Filliat, D., Ivaldi, S.**, 2013. Improving object learning through manipulation and robot self-identification. In *Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2013 IEEE International Conference on (pp. 1365-1370). IEEE.
- [16] **Kurt, B.**, 2009. Imitation Of Human Arm Movements By A Humanoid Robot Using Monocular Vision, *Doctoral dissertation*, Bogaziçi University.
- [17] **Thobbi, A., Sheng, W.**, 2010. Imitation learning of arm gestures in presence of missing data for humanoid robots, In *Humanoid Robots (Humanoids)*, 2010 10th IEEE-RAS International Conference on (pp. 92-97). IEEE.
- [18] **Manasrah, A. A.**, 2012. Human motion tracking for assisting balance training and control of a humanoid robot, *Doctoral dissertation*, University of South Florida.
- [19] **Franz, S., Nolte-Holube, R., Wallhoff, F.**, 2013. NAFOME: NAO Follows Me – Tracking, Reproduction and Simulation of Human Motion, Technically Assisted Rehabilitation (TAR) Conference.
- [20] **Ibrahim, A. R., Adiprawita, W.**, 2012. Analytical Upper Body Human Motion Transfer to Naohumanoid Robot, *International Journal on Electrical Engineering and Informatics – Volume 4, Number 4*.
- [21] **Mota, E., Moreira, A. P., do Nascimento, T. P.**, 2011. Motion and Teaching of a NAO Robot. *Provas de Dissertacao do MIEEC. Portugal*.
- [22] **Itauma, I. I., Kivrak, H., Kose, H.** 2012. Gesture imitation using machine learning techniques. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2012 20th (pp. 1-4). IEEE.

- [23] **Guo, M., Das, S., Bumpus, J., Bekele, E., Sarkar, N.,** Interfacing of Kinect Motion Sensor and NAO Humanoid Robot for Imitation Learning.
- [24] **Michieletto, S., Rizzi, A., Menegatti, E.,** 2013. Robot learning by observing humans activities and modeling failures. In IROS workshops: Cognitive Robotics Systems (CRS2013), IEEE.
- [25] **Smisek, J., Jancosek, M., Pajdla, T.,** 2013. 3D with Kinect. In Consumer Depth Cameras for Computer Vision (pp. 3-25). Springer London.
- [26] **Yüksel, H.,** İnsan Hareketinin Algılanmasından Yeni Bir Teknoloji Platformu: KINECT.
- [27] **Tenekeci, M. E., Gümüşçü, A., Ağırman, Ö.,** Harf Eğitimi İçin İnteraktif Kinect Uygulaması.
- [28] **Boy, F.,** 2011. Windows için Kinect SDK. <http://www.enterprisecoding.com/post/windows-icin-kinect-sdk>, 4 Nisan 2014.
- [29] **Erkal, U.,** 2011. Kinect SDK ile Sensör ve Kamera Erişimi. <http://www.yazgelistir.com/makale/kinect-sdk-ile-sensor-ve-kamera-erisimi>, 7 Ekim 2014.
- [30] **Tosun, K.,** Dokuz Eylül Üniversitesi, Statik Ders Notları.
- [31] **Şehirli, K.,** Dokuz Eylül Üniversitesi, Vektörler Ders Notları.
- [32] **Capdepuy, P., Picard, M.,** 2012. Advanced Programming with NAO, Generation robots.
- [33] <https://developer.aldebaran-robotics.com/doc/112/nao/hardware/kinematics/motors.html> Aldebaran Robotics, NAO Software 1.12.5 documentation. 6 Mart 2013.
- [34] **Dr.Kamal N.Karna, David M.Breen.,** 1989. An artificial neural networks tutorial: part1-basics, Neural Networks Vol:1, No:1.
- [35] **Hines, J., Tsoukalas, L. H., Uhrig, R. E.,** 1997. MATLAB supplement to Fuzzy and neural approaches in engineering. John Wiley & Sons, Inc.
- [36] **Niestroy, M.,** 1996. Optimal controller approximation using neural and fuzzy-neural networks. In Fuzzy Systems, 1996., Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on (Vol. 1, pp. 486-491). IEEE.

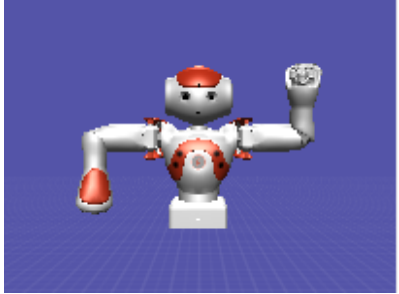
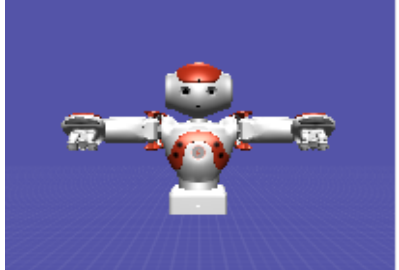
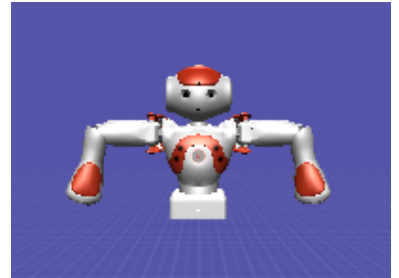
- [37] **Gökbulut, M.**, Yapay Sinir Ağlarına Giriş, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektronik – Bilgisayar Eğitimi Ders Notları.
- [38] **Haykin, S.**, 2008. Neural Networks and Learning Machines. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- [39] https://community.aldebaran.com/doc/1-14/family/nao_t14/joints_t14.htm
Aldebaran Robotics, NAO Software 1.14.5 documentation: T14 Joints. 04 Mart 2013.

EKLER

Ek Tablo 1. Taklit uygulamasında kullanılan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1.1	0.127	1	1.477	1	-0.063	1	-0.466	1	0.011	1	-1.481	1	0.081	1	0.212	1	
1.2	0.128	1	1.335	1	-0.161	1	-0.644	1	0.161	1	-1.335	1	0.117	1	0.253	1	
1.3	0.103	1	1.363	1	-0.105	1	-0.227	1	0.093	1	-1.346	1	0.038	1	0.888	1	
1.4	0.171	1	0.477	1	-0.120	1	0.234	1	-0.102	1	-1.526	1	0.183	1	-0.033	1	
1.5	0.402	1	1.284	1	-0.201	1	-0.554	1	-0.014	1	-1.446	1	0.160	1	0.874	1	
1.6	-0.022	1	1.532	1	-0.186	1	0.255	1	0.064	1	-1.491	1	0.105	1	0.101	1	
1.7	0.180	1	1.356	1	-0.286	1	-0.197	1	0.145	1	-1.301	1	0.265	1	0.219	1	
1.8	0.056	1	1.425	1	-0.464	1	-0.836	1	-0.055	1	-1.476	1	0.233	1	1.504	1	
1.9	0.048	1	1.428	1	-0.147	1	0.702	1	-0.204	1	-1.452	1	0.049	1	0.125	1	
1.10	0.022	1	1.480	1	-0.029	1	0.285	1	-0.151	1	-1.499	1	0.101	1	0.816	1	
1.11	0.070	1	1.512	1	-0.069	1	0.297	1	-0.045	1	-1.485	1	0.044	1	1.020	1	
2.1	0.042	2	1.558	2	-1.292	2	-1.112	2	-0.086	2	-1.512	2	1.384	2	1.257	2	
2.2	0.026	2	1.348	2	-1.644	2	-1.042	2	-0.032	2	-1.438	2	1.505	2	1.396	2	
2.3	0.136	2	1.429	2	-1.377	2	-0.887	2	0.102	2	-1.410	2	1.303	2	0.911	2	
2.4	0.281	2	1.292	2	-1.020	2	-0.999	2	0.091	2	-1.164	2	1.089	2	1.218	2	
2.5	0.583	2	1.026	2	-1.985	2	-0.946	2	0.176	2	-1.203	2	1.702	2	0.959	2	
2.6	0.179	2	1.376	2	-1.470	2	-0.965	2	0.126	2	-1.330	2	1.533	2	0.938	2	
2.7	0.039	2	1.187	2	-1.991	2	-0.843	2	-0.111	2	-1.152	2	2.003	2	1.192	2	
2.8	0.205	2	1.375	2	-1.860	2	-1.087	2	-0.021	2	-1.411	2	1.922	2	1.109	2	
2.9	0.274	2	1.421	2	-1.367	2	-1.027	2	0.044	2	-1.357	2	1.355	2	1.174	2	
2.10	0.089	2	1.453	2	-1.116	2	-1.093	2	-0.101	2	-1.376	2	1.266	2	1.422	2	
2.11	0.236	2	1.501	2	-1.397	2	-1.210	2	0.100	2	-1.296	2	1.575	2	1.288	2	
3.1	0.502	3	1.065	3	-1.076	3	0.615	3	0.227	3	-1.440	3	1.242	3	1.429	3	
3.2	0.234	3	0.986	3	-0.895	3	0.982	3	-0.057	3	-1.455	3	1.258	3	1.510	3	
3.3	0.585	3	1.005	3	-1.160	3	0.313	3	0.033	3	-1.366	3	1.328	3	1.382	3	
3.4	0.340	3	1.409	3	-1.423	3	1.032	3	-0.169	3	-1.215	3	1.213	3	1.448	3	
3.5	0.402	3	1.284	3	-0.201	3	-0.554	3	-0.014	3	-1.446	3	0.160	3	0.874	3	
3.6	0.268	3	1.176	3	-0.757	3	1.154	3	0.130	3	-1.304	3	1.576	3	1.109	3	
3.7	0.636	3	0.974	3	-1.243	3	0.464	3	0.085	3	-1.197	3	2.209	3	1.177	3	
3.8	0.032	3	0.862	3	-1.086	3	1.173	3	-0.092	3	-1.292	3	1.594	3	1.118	3	
3.9	0.644	3	1.034	3	-0.954	3	0.756	3	-0.110	3	-1.150	3	1.215	3	1.430	3	
3.10	0.299	3	1.395	3	-1.410	3	1.137	3	-0.257	3	-1.178	3	1.158	3	1.450	3	
3.11	0.550	3	1.100	3	-1.150	3	0.794	3	-0.051	3	-1.392	3	1.448	3	1.439	3	

Ek Tablo 1'in devamı

4.1	-0.143	4	1.438	4	-1.244	4	-1.002	4	0.243	4	-1.330	4	1.073	4	-1.316	4	
4.2	-0.034	4	1.388	4	-1.592	4	1.049	4	0.281	4	-1.064	4	1.064	4	-1.217	4	
4.3	0.194	4	1.209	4	-1.317	4	-1.129	4	0.301	4	-1.049	4	1.184	4	-1.286	4	
4.4	-0.161	4	1.104	4	-0.977	4	-1.001	4	0.249	4	-1.221	4	1.426	4	-1.330	4	
4.5	0.193	4	1.404	4	-1.625	4	-0.827	4	0.044	4	-1.333	4	1.421	4	-1.088	4	
4.6	-0.049	4	1.336	4	-1.630	4	-0.608	4	0.338	4	-1.070	4	1.155	4	-1.240	4	
4.7	0.248	4	1.234	4	-2.023	4	-1.174	4	0.595	4	-0.875	4	1.248	4	-1.114	4	
4.8	-0.271	4	1.289	4	-1.714	4	-0.730	4	0.004	4	-1.271	4	1.537	4	-0.970	4	
4.9	-0.151	4	1.225	4	-1.138	4	-0.840	4	0.234	4	-1.041	4	0.929	4	-1.345	4	
4.10	0.006	4	1.422	4	-1.311	4	-1.404	4	0.233	4	-1.298	4	1.342	4	-1.353	4	
4.11	0.039	4	1.214	4	-1.186	4	-1.242	4	0.268	4	-1.167	4	1.390	4	-1.320	4	
5.1	0.306	5	1.235	5	-1.450	5	-0.253	5	-0.020	5	-1.237	5	1.206	5	0.115	5	
5.2	-0.035	5	1.071	5	-1.318	5	0.081	5	0.185	5	-1.078	5	1.336	5	0.068	5	
5.3	0.412	5	1.166	5	-1.015	5	-0.395	5	0.384	5	-1.163	5	1.565	5	-0.237	5	
5.4	-0.229	5	1.135	5	-1.197	5	0.113	5	-0.048	5	-1.173	5	1.016	5	0.144	5	
5.5	0.174	5	1.403	5	-1.311	5	0.007	5	0.225	5	-1.175	5	1.397	5	-0.319	5	
5.6	0.257	5	1.193	5	-0.962	5	0.837	5	0.287	5	-1.061	5	1.013	5	-1.221	5	
5.7	0.391	5	1.181	5	-1.482	5	-0.377	5	0.295	5	-1.137	5	1.781	5	0.003	5	
5.8	-0.083	5	1.475	5	-1.513	5	-0.286	5	-0.071	5	-1.426	5	1.304	5	0.348	5	
5.9	-0.202	5	1.261	5	-0.852	5	0.282	5	-0.356	5	-1.309	5	0.796	5	0.258	5	
5.10	0.030	5	1.359	5	-0.809	5	0.171	5	-0.171	5	-1.298	5	0.971	5	0.137	5	
5.11	0.280	5	1.439	5	-0.748	5	-0.147	5	0.024	5	-1.396	5	0.688	5	0.088	5	
6.1	0.341	6	1.210	6	-1.126	6	0.973	6	0.127	6	-1.314	6	1.152	6	-1.363	6	
6.2	0.175	6	1.348	6	-1.255	6	0.926	6	0.220	6	-1.180	6	1.154	6	-0.986	6	
6.3	0.496	6	1.140	6	-1.201	6	0.347	6	0.275	6	-1.162	6	1.091	6	-1.035	6	
6.4	0.048	6	1.519	6	-1.423	6	1.067	6	0.071	6	-1.435	6	1.601	6	-1.055	6	
6.5	0.480	6	1.135	6	-1.272	6	0.722	6	0.383	6	-1.068	6	0.447	6	-1.259	6	
6.6	0.085	6	1.426	6	-1.358	6	0.087	6	0.099	6	-1.410	6	0.730	6	-0.339	6	
6.7	0.251	6	1.318	6	-1.531	6	1.030	6	0.134	6	-1.229	6	1.538	6	-1.222	6	
6.8	0.026	6	1.390	6	-1.205	6	1.081	6	0.099	6	-1.407	6	1.150	6	-1.124	6	
6.9	-0.098	6	1.255	6	-1.212	6	1.334	6	-0.105	6	-1.451	6	1.388	6	-0.919	6	
6.10	0.129	6	1.540	6	-1.124	6	1.242	6	0.191	6	-1.237	6	1.258	6	-1.211	6	
6.11	0.356	6	1.279	6	-1.253	6	0.998	6	0.167	6	-1.248	6	1.389	6	-1.381	6	

1.1, ..., 6.11

: İlk rakam hareket numarasını ikinci rakam ise kullanıcı numarasını göstermektedir.

X

: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

Y

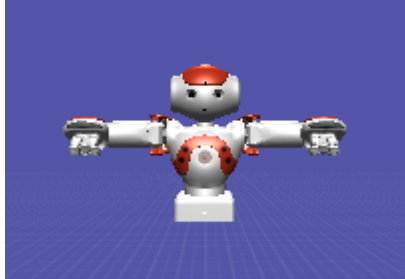
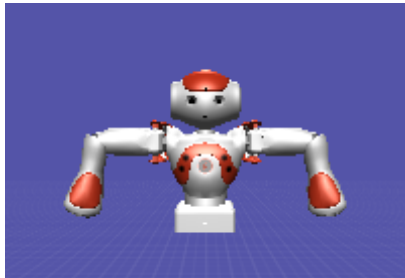
: Hareket numaraları

5.3

: 5. hareket için 3. kullanıcıdan alınan kol eklem açılarını ifade etmektedir.

Ek Tablo 2. Sınıflandırma uygulaması için A kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
A.1.1	0,088	1	1,498	1	-0,262	1	-0,599	1	-0,110	1	-1,433	1	0,160	1	1,223	1	
A.1.2	0,250	1	1,352	1	-0,243	1	-0,485	1	0,099	1	-1,359	1	0,145	1	0,382	1	
A.1.3	0,161	1	1,490	1	-0,185	1	-0,450	1	-0,041	1	-1,501	1	0,182	1	1,308	1	
A.1.4	0,127	1	1,508	1	-0,140	1	-0,676	1	-0,060	1	-1,514	1	0,142	1	1,448	1	
A.1.5	0,142	1	1,531	1	-0,201	1	-0,758	1	-0,045	1	-1,503	1	0,149	1	1,135	1	
A.1.6	0,111	1	1,542	1	-0,059	1	-0,813	1	-0,114	1	-1,529	1	0,120	1	1,519	1	
A.1.7	0,058	1	1,478	1	-0,102	1	-0,312	1	-0,129	1	-1,496	1	0,169	1	1,374	1	
A.1.8	-0,035	1	1,390	1	-0,024	1	-0,371	1	-0,009	1	-1,397	1	0,187	1	1,058	1	
A.1.9	0,058	1	1,385	1	-0,054	1	-0,873	1	-0,017	1	-1,449	1	0,180	1	1,130	1	
A.1.10	0,139	1	1,457	1	-0,142	1	-0,897	1	-0,057	1	-1,514	1	0,199	1	1,207	1	
A.2.1	0,156	2	1,465	2	-1,310	2	-1,087	2	-0,095	2	-1,514	2	1,452	2	1,389	2	
A.2.2	0,133	2	1,450	2	-1,354	2	-1,051	2	-0,070	2	-1,484	2	1,538	2	1,332	2	
A.2.3	0,223	2	1,409	2	-1,572	2	-1,064	2	-0,145	2	-1,497	2	1,706	2	1,398	2	
A.2.4	0,091	2	1,469	2	-1,461	2	-1,074	2	-0,145	2	-1,486	2	1,574	2	1,375	2	
A.2.5	0,223	2	1,430	2	-1,375	2	-1,095	2	-0,165	2	-1,454	2	1,548	2	1,441	2	
A.2.6	0,144	2	1,495	2	-1,490	2	-1,007	2	-0,233	2	-1,240	2	1,462	2	1,505	2	
A.2.7	0,286	2	1,373	2	-1,423	2	-1,044	2	-0,042	2	-1,456	2	1,569	2	1,223	2	
A.2.8	0,174	2	1,473	2	-1,523	2	-1,032	2	-0,224	2	-1,366	2	1,595	2	1,371	2	
A.2.9	0,319	2	1,336	2	-1,370	2	-1,050	2	0,001	2	-1,450	2	1,493	2	1,206	2	
A.2.10	0,226	2	1,428	2	-1,354	2	-1,139	2	-0,077	2	-1,430	2	1,460	2	1,369	2	
A.3.1	0,758	3	0,944	3	-1,081	3	0,295	3	-0,165	3	-1,260	3	1,377	3	1,469	3	
A.3.2	0,618	3	1,025	3	-1,052	3	0,628	3	-0,184	3	-1,253	3	1,435	3	1,459	3	
A.3.3	0,516	3	1,114	3	-1,194	3	0,726	3	-0,204	3	-1,282	3	1,429	3	1,469	3	
A.3.4	0,583	3	1,027	3	-1,164	3	0,583	3	-0,228	3	-1,285	3	1,467	3	1,543	3	
A.3.5	0,608	3	1,039	3	-1,176	3	0,592	3	-0,214	3	-1,268	3	1,494	3	1,447	3	
A.3.6	0,590	3	1,049	3	-1,225	3	0,626	3	-0,302	3	-1,257	3	1,322	3	1,345	3	
A.3.7	0,495	3	1,178	3	-1,345	3	0,814	3	-0,246	3	-1,305	3	1,287	3	1,393	3	
A.3.8	0,630	3	0,947	3	-1,262	3	0,460	3	-0,339	3	-1,308	3	1,713	3	1,343	3	
A.3.9	0,424	3	1,128	3	-1,366	3	0,692	3	-0,256	3	-1,278	3	1,547	3	1,530	3	
A.3.10	0,400	3	1,216	3	-1,328	3	0,830	3	-0,212	3	-1,284	3	1,266	3	1,530	3	
A.4.1	0,215	4	1,406	4	-1,372	4	-1,130	4	-0,006	4	-1,201	4	1,149	4	-1,002	4	
A.4.2	0,157	4	1,289	4	-1,164	4	-1,199	4	0,219	4	-1,336	4	1,307	4	-1,372	4	
A.4.3	0,146	4	1,332	4	-1,401	4	-1,127	4	0,019	4	-1,104	4	1,232	4	-1,135	4	
A.4.4	0,159	4	1,369	4	-1,463	4	-1,140	4	0,070	4	-1,048	4	1,256	4	-1,163	4	
A.4.5	0,178	4	1,477	4	-1,256	4	-1,247	4	0,046	4	-1,046	4	1,322	4	-1,144	4	
A.4.6	0,184	4	1,387	4	-1,391	4	-1,131	4	0,133	4	-1,072	4	1,280	4	-1,259	4	
A.4.7	0,237	4	1,363	4	-1,385	4	-1,117	4	0,085	4	-1,054	4	1,355	4	-1,186	4	
A.4.8	0,185	4	1,381	4	-1,497	4	-1,123	4	0,081	4	-1,020	4	1,333	4	-1,131	4	
A.4.9	0,086	4	1,495	4	-1,580	4	-1,058	4	0,097	4	-1,029	4	1,320	4	-1,094	4	
A.4.10	0,185	4	1,388	4	-1,357	4	-1,198	4	0,228	4	-1,266	4	1,306	4	-1,287	4	

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
A.5.1	0,518	5	1,150	5	-0,966	5	-0,737	5	0,075	5	-1,352	5	1,360	5	-0,066	5	
A.5.2	0,165	5	1,448	5	-0,899	5	-0,435	5	-0,033	5	-1,463	5	1,774	5	0,069	5	
A.5.3	0,240	5	1,331	5	-0,810	5	-0,320	5	0,027	5	-1,286	5	1,525	5	0,070	5	
A.5.4	0,081	5	1,312	5	-1,370	5	0,045	5	-0,199	5	-1,376	5	1,538	5	0,375	5	
A.5.5	0,110	5	1,558	5	-0,984	5	0,014	5	-0,171	5	-1,501	5	1,652	5	0,256	5	
A.5.6	0,123	5	1,422	5	-1,481	5	-0,079	5	-0,272	5	-1,320	5	1,468	5	0,619	5	
A.5.7	0,362	5	1,356	5	-1,522	5	-0,385	5	-0,043	5	-1,438	5	1,556	5	0,305	5	
A.5.8	0,316	5	1,179	5	-1,162	5	-0,105	5	0,112	5	-1,271	5	1,698	5	0,148	5	
A.5.9	0,479	5	1,171	5	-1,605	5	-0,354	5	-0,071	5	-1,370	5	1,631	5	0,310	5	
A.5.10	0,229	5	1,448	5	-1,445	5	-0,168	5	-0,201	5	-1,462	5	1,199	5	0,419	5	
A.6.1	0,164	6	1,488	6	-1,116	6	1,260	6	0,171	6	-1,298	6	1,463	6	-1,077	6	
A.6.2	0,328	6	1,066	6	-0,990	6	1,194	6	-0,012	6	-1,191	6	1,236	6	-1,237	6	
A.6.3	0,272	6	0,992	6	-1,178	6	1,104	6	-0,087	6	-1,084	6	1,428	6	-1,093	6	
A.6.4	0,211	6	1,361	6	-1,298	6	1,012	6	0,063	6	-1,355	6	1,490	6	-0,988	6	
A.6.5	0,325	6	1,197	6	-1,367	6	1,036	6	-0,064	6	-1,162	6	1,443	6	-0,972	6	
A.6.6	0,369	6	1,241	6	-1,226	6	0,963	6	0,069	6	-1,336	6	1,472	6	-1,040	6	
A.6.7	0,370	6	1,184	6	-1,296	6	0,971	6	0,067	6	-1,308	6	1,483	6	-1,160	6	
A.6.8	0,284	6	1,242	6	-1,345	6	1,104	6	0,045	6	-1,240	6	1,429	6	-1,078	6	
A.6.9	0,331	6	1,207	6	-1,305	6	1,004	6	-0,052	6	-1,260	6	1,436	6	-0,950	6	
A.6.10	0,347	6	1,158	6	-1,339	6	1,013	6	0,045	6	-1,134	6	1,431	6	-1,157	6	

Acıklamalar

A.1.1, ... , A.6.10

: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

X

: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

Y

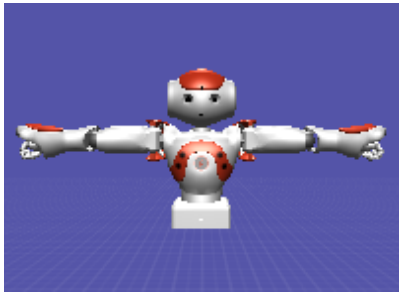
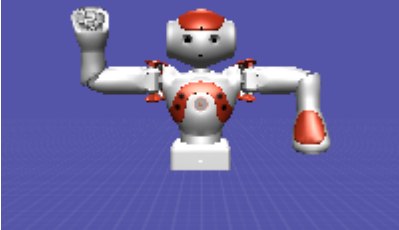
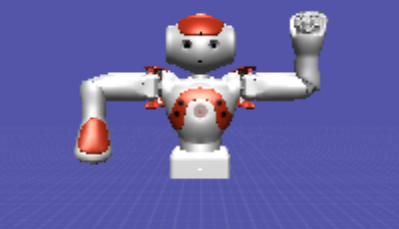
: Hareket numaraları

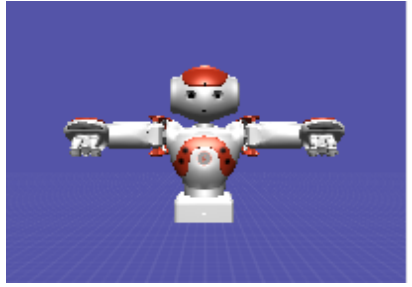
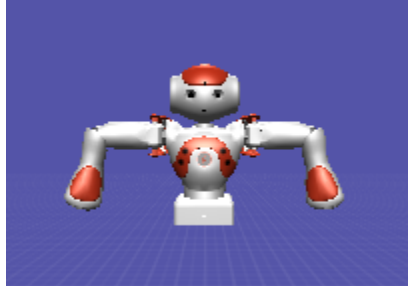
Örnek Gösterim

A.5.3

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için A kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

Ek Tablo 3. Sınıflandırma uygulaması için B kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
B.1.1	0,143	1	1,497	1	-0,117	1	-0,222	1	-0,102	1	-1,477	1	0,114	1	1,286	1	
B.1.2	0,133	1	1,503	1	-0,150	1	0,628	1	-0,097	1	-1,467	1	0,098	1	1,189	1	
B.1.3	0,159	1	1,505	1	-0,134	1	0,427	1	-0,161	1	-1,474	1	0,158	1	0,601	1	
B.1.4	0,206	1	1,451	1	-0,204	1	0,197	1	-0,143	1	-1,472	1	0,163	1	0,640	1	
B.1.5	0,131	1	1,481	1	-0,120	1	-0,036	1	-0,106	1	-1,470	1	0,111	1	0,884	1	
B.1.6	0,162	1	1,490	1	-0,120	1	0,161	1	-0,171	1	-1,364	1	0,177	1	1,068	1	
B.1.7	0,195	1	1,458	1	-0,110	1	-0,471	1	-0,190	1	-1,361	1	0,141	1	0,807	1	
B.1.8	0,138	1	1,539	1	-0,073	1	0,091	1	-0,129	1	-1,393	1	0,154	1	1,267	1	
B.1.9	0,054	1	1,481	1	-0,042	1	0,415	1	-0,066	1	-1,369	1	0,150	1	1,457	1	
B.1.10	0,117	1	1,506	1	-0,112	1	0,576	1	-0,153	1	-1,389	1	0,137	1	1,003	1	
B.2.1	0,097	2	1,428	2	-1,411	2	-0,991	2	0,017	2	-1,403	2	1,506	2	1,180	2	
B.2.2	0,196	2	1,350	2	-1,425	2	-1,070	2	-0,013	2	-1,383	2	1,483	2	1,181	2	
B.2.3	0,153	2	1,442	2	-1,369	2	-1,045	2	-0,046	2	-1,357	2	1,483	2	1,257	2	
B.2.4	0,156	2	1,387	2	-1,419	2	-1,054	2	-0,040	2	-1,360	2	1,504	2	1,244	2	
B.2.5	0,178	2	1,338	2	-1,430	2	-1,061	2	-0,045	2	-1,387	2	1,492	2	1,233	2	
B.2.6	0,180	2	1,307	2	-1,457	2	-1,063	2	-0,080	2	-1,395	2	1,484	2	1,287	2	
B.2.7	0,185	2	1,304	2	-1,460	2	-1,067	2	-0,085	2	-1,361	2	1,498	2	1,280	2	
B.2.8	0,156	2	1,357	2	-1,438	2	-1,036	2	-0,083	2	-1,339	2	1,490	2	1,271	2	
B.2.9	0,180	2	1,311	2	-1,456	2	-1,070	2	-0,056	2	-1,322	2	1,486	2	1,234	2	
B.2.10	0,159	2	1,297	2	-1,457	2	-1,052	2	-0,078	2	-1,347	2	1,481	2	1,266	2	
B.3.1	0,209	3	1,447	3	-1,354	3	1,233	3	-0,211	3	-1,392	3	1,255	3	1,486	3	
B.3.2	0,252	3	1,354	3	-1,494	3	1,133	3	-0,318	3	-1,329	3	1,440	3	1,474	3	
B.3.3	0,292	3	1,317	3	-1,309	3	1,114	3	-0,299	3	-1,330	3	1,065	3	1,444	3	
B.3.4	0,298	3	1,318	3	-1,394	3	1,124	3	-0,307	3	-1,348	3	1,303	3	1,380	3	
B.3.5	0,257	3	1,283	3	-1,202	3	1,162	3	-0,290	3	-1,353	3	1,041	3	1,417	3	
B.3.6	0,271	3	1,271	3	-1,305	3	1,143	3	-0,324	3	-1,319	3	1,078	3	1,421	3	
B.3.7	0,260	3	1,261	3	-1,205	3	1,153	3	-0,318	3	-1,312	3	1,022	3	1,360	3	
B.3.8	0,251	3	1,272	3	-1,251	3	1,146	3	-0,288	3	-1,337	3	1,096	3	1,494	3	
B.3.9	0,247	3	1,304	3	-1,222	3	1,182	3	-0,333	3	-1,315	3	1,069	3	1,437	3	
B.3.10	0,258	3	1,295	3	-1,236	3	1,159	3	-0,322	3	-1,326	3	1,113	3	1,433	3	
B.4.1	-0,081	4	1,406	4	-1,215	4	-0,978	4	0,153	4	-1,319	4	1,277	4	-1,374	4	
B.4.2	-0,089	4	1,492	4	-1,516	4	-1,164	4	0,105	4	-1,317	4	1,281	4	-1,317	4	
B.4.3	-0,090	4	1,400	4	-1,265	4	-1,105	4	0,128	4	-1,383	4	1,349	4	-1,328	4	
B.4.4	-0,153	4	1,445	4	-1,308	4	-1,065	4	0,081	4	-1,275	4	1,284	4	-1,341	4	
B.4.5	-0,088	4	1,329	4	-1,598	4	-1,149	4	0,051	4	-1,400	4	1,300	4	-1,316	4	
B.4.6	-0,103	4	1,322	4	-1,622	4	-1,106	4	0,096	4	-1,381	4	1,284	4	-1,304	4	
B.4.7	-0,150	4	1,417	4	-1,268	4	-1,055	4	0,068	4	-1,281	4	1,271	4	-1,279	4	
B.4.8	-0,165	4	1,344	4	-1,375	4	-1,064	4	0,040	4	-1,295	4	1,274	4	-1,277	4	
B.4.9	-0,212	4	1,370	4	-1,169	4	-0,993	4	0,038	4	-1,259	4	1,263	4	-1,266	4	
B.4.10	-0,102	4	1,385	4	-1,334	4	-1,127	4	0,032	4	-1,242	4	1,247	4	-1,233	4	

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
B.5.1	-0,133	5	1,346	5	-0,892	5	0,065	5	-0,252	5	-1,391	5	1,014	5	0,242	5	
B.5.2	-0,069	5	1,412	5	-0,959	5	0,092	5	-0,290	5	-1,352	5	1,021	5	0,270	5	
B.5.3	-0,083	5	1,401	5	-1,009	5	0,073	5	-0,269	5	-1,379	5	1,077	5	0,276	5	
B.5.4	0,081	5	1,171	5	-1,344	5	-0,072	5	-0,192	5	-1,256	5	1,362	5	0,186	5	
B.5.5	0,026	5	1,143	5	-1,338	5	-0,006	5	-0,174	5	-1,221	5	1,378	5	0,123	5	
B.5.6	0,024	5	1,140	5	-1,323	5	0,006	5	-0,214	5	-1,176	5	0,909	5	0,238	5	
B.5.7	0,011	5	1,372	5	-1,354	5	0,126	5	-0,242	5	-1,286	5	1,521	5	0,216	5	
B.5.8	-0,046	5	1,320	5	-1,370	5	0,199	5	-0,241	5	-1,290	5	1,499	5	0,200	5	
B.5.9	0,245	5	1,434	5	-0,946	5	0,150	5	-0,198	5	-1,483	5	1,302	5	0,120	5	
B.5.10	0,170	5	1,458	5	-1,496	5	0,009	5	-0,047	5	-1,474	5	0,948	5	0,128	5	
B.6.1	0,018	6	1,196	6	-1,231	6	1,375	6	-0,049	6	-1,286	6	1,174	6	-1,023	6	
B.6.2	-0,098	6	1,236	6	-1,291	6	1,430	6	-0,057	6	-1,321	6	1,218	6	-1,085	6	
B.6.3	-0,044	6	1,209	6	-1,303	6	1,394	6	-0,028	6	-1,221	6	1,183	6	-1,215	6	
B.6.4	-0,060	6	1,183	6	-1,252	6	1,418	6	-0,036	6	-1,195	6	1,168	6	-1,174	6	
B.6.5	0,010	6	1,210	6	-1,215	6	1,386	6	-0,076	6	-1,378	6	1,261	6	-0,948	6	
B.6.6	-0,036	6	1,189	6	-1,276	6	1,353	6	-0,072	6	-1,185	6	1,183	6	-1,159	6	
B.6.7	-0,012	6	1,134	6	-1,233	6	1,299	6	-0,045	6	-1,183	6	1,195	6	-1,160	6	
B.6.8	-0,014	6	1,158	6	-1,216	6	1,333	6	-0,047	6	-1,102	6	1,136	6	-1,169	6	
B.6.9	-0,060	6	1,340	6	-1,391	6	1,391	6	-0,015	6	-1,369	6	1,347	6	-1,166	6	
B.6.10	-0,105	6	1,346	6	-1,368	6	1,325	6	-0,048	6	-1,444	6	1,360	6	-1,120	6	

Açıklamalar**B.1.1, ... , B.6.10**

: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

X

: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

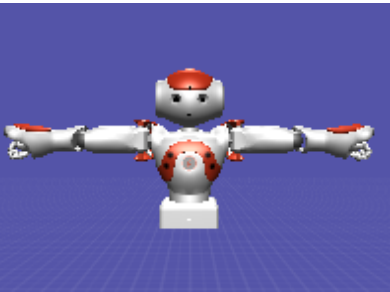
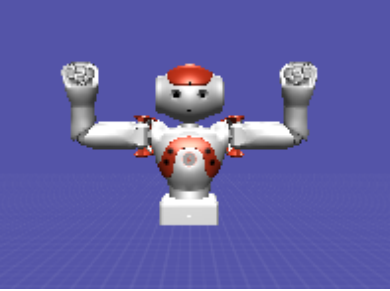
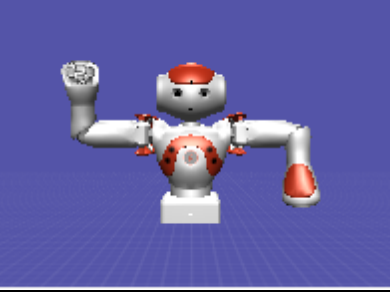
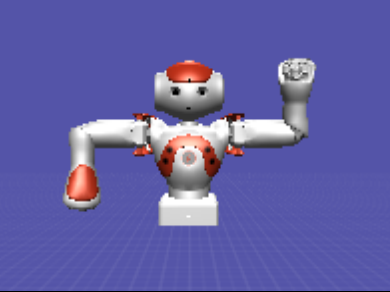
Y

: Hareket numaraları

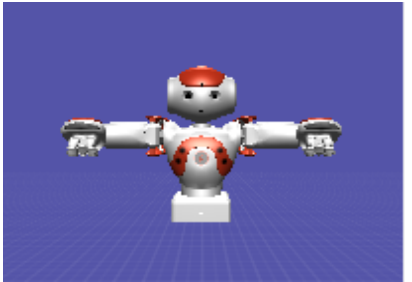
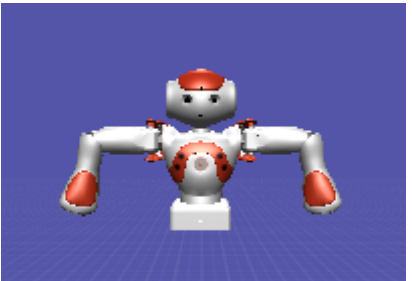
Örnek Gösterim**B.5.3**

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için B kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

Ek Tablo 4. Sınıflandırma uygulaması için E kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
E.1.1	0,061	1	1,457	1	-0,201	1	-1,263	1	0,078	1	-1,423	1	0,096	1	1,198	1	
E.1.2	0,133	1	1,403	1	-0,173	1	-1,378	1	0,109	1	-1,382	1	0,111	1	1,336	1	
E.1.3	0,089	1	1,423	1	-0,196	1	-1,196	1	0,029	1	-1,414	1	0,083	1	0,895	1	
E.1.4	0,063	1	1,445	1	-0,116	1	-1,462	1	0,027	1	-1,370	1	0,120	1	1,417	1	
E.1.5	0,104	1	1,410	1	-0,098	1	-1,284	1	-0,012	1	-1,356	1	0,133	1	1,411	1	
E.1.6	0,278	1	1,173	1	-0,713	1	-0,782	1	0,062	1	-1,199	1	0,561	1	0,677	1	
E.1.7	0,085	1	1,406	1	-0,082	1	-0,987	1	-0,002	1	-1,315	1	0,157	1	1,489	1	
E.1.8	0,248	1	1,259	1	-0,063	1	-0,561	1	0,335	1	-1,283	1	0,067	1	1,034	1	
E.1.9	0,196	1	1,316	1	-0,242	1	-1,303	1	0,223	1	-1,399	1	0,042	1	1,255	1	
E.1.10	0,184	1	1,319	1	-0,109	1	-1,073	1	0,222	1	-1,411	1	0,077	1	1,383	1	
E.2.1	0,164	2	1,439	2	-1,335	2	-1,259	2	0,021	2	-1,507	2	1,280	2	1,352	2	
E.2.2	0,175	2	1,380	2	-1,070	2	-1,165	2	0,068	2	-1,362	2	1,088	2	1,289	2	
E.2.3	0,174	2	1,404	2	-1,629	2	-1,249	2	0,016	2	-1,383	2	1,672	2	1,362	2	
E.2.4	0,176	2	1,369	2	-1,475	2	-1,212	2	0,025	2	-1,437	2	1,661	2	1,333	2	
E.2.5	0,254	2	1,330	2	-1,401	2	-1,256	2	0,106	2	-1,305	2	1,382	2	1,235	2	
E.2.6	0,180	2	1,462	2	-1,544	2	-1,221	2	0,058	2	-1,425	2	1,523	2	1,337	2	
E.2.7	0,235	2	1,372	2	-1,301	2	-1,249	2	0,129	2	-1,381	2	1,219	2	1,289	2	
E.2.8	0,166	2	1,445	2	-1,494	2	-1,256	2	0,043	2	-1,476	2	1,389	2	1,334	2	
E.2.9	0,078	2	1,508	2	-1,526	2	-1,261	2	0,019	2	-1,478	2	1,485	2	1,458	2	
E.2.10	0,207	2	1,408	2	-1,466	2	-1,280	2	0,067	2	-1,434	2	1,485	2	1,423	2	
E.3.1	0,390	3	1,043	3	-1,086	3	0,737	3	-0,062	3	-1,498	3	1,420	3	1,537	3	
E.3.2	0,362	3	1,166	3	-1,323	3	0,791	3	-0,039	3	-1,501	3	1,547	3	1,537	3	
E.3.3	0,519	3	1,001	3	-1,134	3	0,648	3	-0,073	3	-1,422	3	1,547	3	1,467	3	
E.3.4	0,423	3	1,004	3	-1,134	3	0,670	3	-0,079	3	-1,540	3	1,594	3	1,445	3	
E.3.5	0,413	3	1,006	3	-1,237	3	0,641	3	-0,096	3	-1,558	3	1,668	3	1,482	3	
E.3.6	0,423	3	0,985	3	-1,205	3	0,661	3	-0,144	3	-1,500	3	1,707	3	1,335	3	
E.3.7	0,438	3	1,015	3	-1,207	3	0,676	3	-0,114	3	-1,548	3	1,607	3	1,442	3	
E.3.8	0,421	3	1,003	3	-1,185	3	0,718	3	-0,147	3	-1,516	3	1,593	3	1,401	3	
E.3.9	0,446	3	0,999	3	-1,202	3	0,643	3	-0,080	3	-1,521	3	1,515	3	1,485	3	
E.3.10	0,467	3	0,994	3	-1,206	3	0,613	3	-0,094	3	-1,541	3	1,563	3	1,454	3	
E.4.1	-0,034	4	1,504	4	-1,552	4	-1,309	4	0,234	4	-1,135	4	1,187	4	-1,209	4	
E.4.2	0,042	4	1,469	4	-1,487	4	-1,353	4	0,236	4	-1,090	4	1,096	4	-1,209	4	
E.4.3	0,001	4	1,451	4	-1,459	4	-1,290	4	0,204	4	-1,075	4	1,053	4	-1,202	4	
E.4.4	-0,069	4	1,435	4	-1,383	4	-1,323	4	0,198	4	-1,077	4	1,057	4	-1,208	4	
E.4.5	-0,184	4	1,377	4	-1,567	4	-1,060	4	0,192	4	-1,054	4	1,045	4	-1,195	4	
E.4.6	-0,151	4	1,409	4	-1,563	4	-1,040	4	0,197	4	-1,074	4	1,082	4	-1,195	4	
E.4.7	-0,105	4	1,470	4	-1,564	4	-1,156	4	0,177	4	-1,095	4	1,100	4	-1,209	4	
E.4.8	-0,160	4	1,433	4	-1,616	4	-1,136	4	0,132	4	-1,044	4	1,074	4	-1,154	4	
E.4.9	-0,109	4	1,474	4	-1,504	4	-1,211	4	0,210	4	-1,004	4	1,036	4	-1,196	4	
E.4.10	-0,005	4	1,485	4	-1,443	4	-1,385	4	0,270	4	-1,061	4	1,137	4	-1,278	4	

Ek Tablo 4'ün devamı

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
E.5.1	0,259	5	1,127	5	-1,610	5	-0,500	5	0,072	5	-1,097	5	1,972	5	0,016	5	
E.5.2	0,251	5	1,130	5	-1,695	5	-0,486	5	0,111	5	-1,115	5	2,004	5	0,039	5	
E.5.3	0,235	5	1,109	5	-1,887	5	-0,445	5	0,082	5	-1,095	5	1,901	5	0,160	5	
E.5.4	-0,006	5	1,158	5	-0,771	5	-0,045	5	0,051	5	-1,083	5	1,445	5	-0,009	5	
E.5.5	0,233	5	1,131	5	-1,862	5	-0,465	5	0,184	5	-1,126	5	2,027	5	0,036	5	
E.5.6	-0,082	5	1,299	5	-1,332	5	0,053	5	-0,018	5	-1,218	5	1,461	5	0,195	5	
E.5.7	0,284	5	1,257	5	-1,735	5	-0,423	5	0,180	5	-1,180	5	1,855	5	0,142	5	
E.5.8	-0,147	5	1,064	5	-0,280	5	1,456	5	0,047	5	-0,930	5	1,545	5	-0,045	5	
E.5.9	0,146	5	1,289	5	-0,744	5	-0,443	5	0,139	5	-1,165	5	1,825	5	0,160	5	
E.5.10	-0,006	5	1,158	5	-0,771	5	-0,045	5	0,051	5	-1,083	5	1,445	5	-0,009	5	
E.6.1	0,292	6	1,137	6	-1,111	6	0,682	6	0,134	6	-1,070	6	1,097	6	-1,088	6	
E.6.2	0,281	6	1,108	6	-1,159	6	0,655	6	0,208	6	-1,060	6	1,116	6	-1,135	6	
E.6.3	0,353	6	0,928	6	-1,285	6	0,389	6	0,175	6	-0,979	6	1,015	6	-1,014	6	
E.6.4	0,213	6	1,115	6	-1,186	6	0,745	6	0,177	6	-1,017	6	1,154	6	-1,046	6	
E.6.5	0,307	6	1,201	6	-1,340	6	0,474	6	0,328	6	-1,250	6	1,179	6	-1,217	6	
E.6.6	0,354	6	1,123	6	-1,075	6	0,627	6	0,190	6	-1,146	6	1,174	6	-1,139	6	
E.6.7	0,337	6	1,080	6	-0,983	6	0,553	6	0,171	6	-1,086	6	0,990	6	-1,067	6	
E.6.8	0,340	6	1,040	6	-1,139	6	0,540	6	0,148	6	-1,101	6	1,198	6	-1,044	6	
E.6.9	0,353	6	1,075	6	-1,131	6	0,586	6	0,170	6	-1,088	6	1,129	6	-1,104	6	
E.6.10	0,352	6	1,092	6	-0,980	6	0,480	6	0,185	6	-1,103	6	1,107	6	-1,060	6	

Açıklamalar**E.1.1, ... , E.6.10**

: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

X

: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

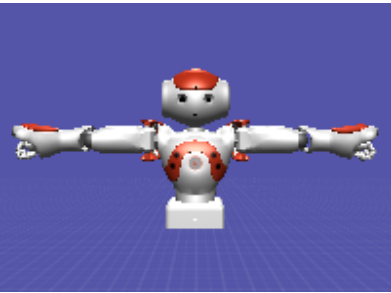
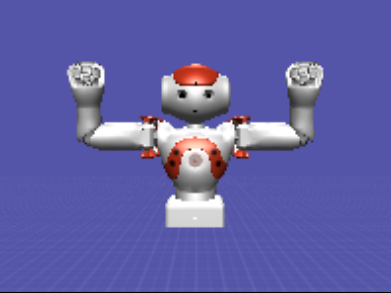
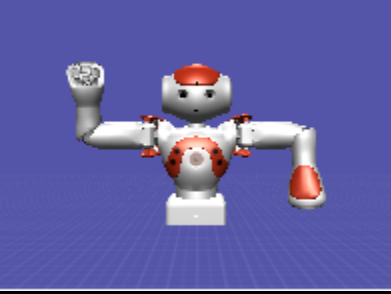
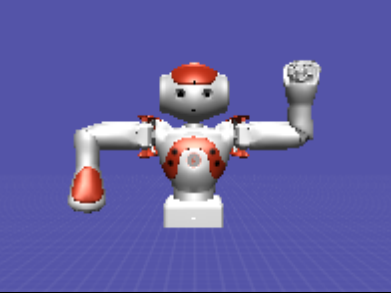
Y

: Hareket numaraları

Örnek Gösterim**E.5.3**

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için E kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

Ek Tablo 5. Sınıflandırma uygulaması için F kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
F.1.1	0,350	1	1,361	1	-0,171	1	0,014	1	-0,041	1	-1,433	1	0,025	1	1,012	1	
F.1.2	0,238	1	1,330	1	-0,269	1	-0,090	1	0,066	1	-1,496	1	0,061	1	1,184	1	
F.1.3	0,166	1	1,379	1	-0,269	1	0,001	1	0,137	1	-1,407	1	0,086	1	-0,353	1	
F.1.4	0,128	1	1,492	1	-0,178	1	-0,027	1	0,010	1	-1,419	1	0,027	1	-1,435	1	
F.1.5	0,137	1	1,421	1	-0,212	1	-0,048	1	0,062	1	-1,506	1	0,064	1	0,655	1	
F.1.6	0,125	1	1,447	1	-0,294	1	-0,082	1	0,036	1	-1,515	1	0,092	1	0,415	1	
F.1.7	0,203	1	1,426	1	-0,335	1	-0,094	1	0,001	1	-1,491	1	0,015	1	0,767	1	
F.1.8	0,052	1	1,494	1	-0,256	1	-0,056	1	-0,041	1	-1,523	1	0,032	1	0,959	1	
F.1.9	0,180	1	1,356	1	-0,286	1	-0,197	1	0,145	1	-1,301	1	0,256	1	0,219	1	
F.1.10	0,152	1	1,446	1	-0,254	1	-0,126	1	-0,034	1	-1,547	1	0,027	1	0,784	1	
F.2.1	0,450	2	1,244	2	-1,598	2	-0,921	2	0,034	2	-1,398	2	1,480	2	1,205	2	
F.2.2	0,216	2	1,427	2	-1,829	2	-0,997	2	0,047	2	-1,336	2	1,751	2	1,016	2	
F.2.3	0,289	2	1,353	2	-1,870	2	-1,022	2	0,001	2	-1,379	2	1,676	2	1,196	2	
F.2.4	0,448	2	1,231	2	-1,753	2	-0,903	2	0,057	2	-1,379	2	1,524	2	1,153	2	
F.2.5	0,280	2	1,308	2	-1,644	2	-1,027	2	-0,048	2	-1,293	2	1,708	2	1,202	2	
F.2.6	0,232	2	1,366	2	-1,752	2	-1,084	2	-0,020	2	-1,366	2	1,662	2	1,188	2	
F.2.7	0,410	2	1,200	2	-1,813	2	-0,973	2	0,098	2	-1,254	2	1,697	2	0,958	2	
F.2.8	0,370	2	1,182	2	-1,940	2	-1,030	2	0,150	2	-1,244	2	1,746	2	0,883	2	
F.2.9	0,318	2	1,312	2	-1,718	2	-1,039	2	0,020	2	-1,354	2	1,594	2	1,124	2	
F.2.10	0,269	2	1,296	2	-1,671	2	-1,060	2	-0,117	2	-1,378	2	1,528	2	1,268	2	
F.3.1	0,513	3	1,153	3	-1,222	3	0,751	3	0,181	3	-1,215	3	1,796	3	0,855	3	
F.3.2	0,378	3	1,224	3	-1,197	3	0,880	3	0,140	3	-1,254	3	1,696	3	0,958	3	
F.3.3	0,400	3	1,182	3	-1,245	3	0,774	3	0,057	3	-1,216	3	1,770	3	0,911	3	
F.3.4	0,477	3	1,178	3	-1,155	3	0,780	3	-0,079	3	-1,370	3	1,640	3	1,204	3	
F.3.5	0,597	3	1,007	3	-1,136	3	0,527	3	0,124	3	-1,226	3	1,891	3	1,056	3	
F.3.6	0,558	3	1,108	3	-1,194	3	0,693	3	0,200	3	-0,997	3	2,095	3	0,871	3	
F.3.7	0,518	3	1,104	3	-1,168	3	0,716	3	0,234	3	-1,036	3	2,054	3	0,740	3	
F.3.8	0,598	3	1,035	3	-1,206	3	0,516	3	0,077	3	-1,170	3	1,983	3	0,974	3	
F.3.9	0,593	3	1,038	3	-1,123	3	0,533	3	-0,028	3	-1,324	3	1,873	3	1,192	3	
F.3.10	0,612	3	0,961	3	-1,170	3	0,489	3	-0,142	3	-1,283	3	1,758	3	1,335	3	
F.4.1	0,143	4	1,337	4	-1,897	4	-1,119	4	-0,074	4	-1,284	4	1,207	4	-1,384	4	
F.4.2	0,108	4	1,324	4	-2,162	4	-0,994	4	-0,197	4	-1,160	4	1,169	4	-1,388	4	
F.4.3	0,102	4	1,328	4	-1,905	4	-1,098	4	-0,163	4	-1,129	4	1,162	4	-1,347	4	
F.4.4	0,171	4	1,285	4	-1,971	4	-1,022	4	-0,251	4	-1,131	4	1,128	4	-1,254	4	
F.4.5	0,175	4	1,225	4	-1,948	4	-1,036	4	-0,205	4	-1,059	4	1,096	4	-1,254	4	
F.4.6	0,138	4	1,361	4	-1,989	4	-1,026	4	-0,370	4	-1,052	4	1,108	4	-1,191	4	
F.4.7	0,102	4	1,341	4	-1,933	4	-1,077	4	-0,229	4	-1,131	4	1,106	4	-1,348	4	
F.4.8	0,107	4	1,296	4	-1,928	4	-1,041	4	-0,254	4	-1,082	4	1,057	4	-1,229	4	
F.4.9	0,099	4	1,229	4	-1,921	4	-1,060	4	-0,131	4	-1,104	4	1,082	4	-1,403	4	
F.4.10	0,113	4	1,376	4	-1,813	4	-1,084	4	-0,110	4	-1,227	4	1,103	4	-1,375	4	

Ek Tablo 5'in devamı

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
F.5.1	0,590	5	1,023	5	-1,369	5	-0,545	5	0,276	5	-1,208	5	1,424	5	-0,205	5	
F.5.2	0,475	5	1,129	5	-1,336	5	-0,503	5	0,148	5	-1,231	5	1,442	5	-0,003	5	
F.5.3	0,409	5	1,169	5	-1,414	5	-0,435	5	0,044	5	-1,336	5	1,471	5	0,045	5	
F.5.4	0,274	5	1,223	5	-1,524	5	-0,222	5	-0,047	5	-1,323	5	1,245	5	-0,016	5	
F.5.5	0,353	5	1,240	5	-1,078	5	-0,096	5	0,087	5	-1,447	5	1,194	5	-0,275	5	
F.5.6	0,385	5	1,183	5	-0,974	5	-0,291	5	0,133	5	-1,258	5	1,334	5	0,007	5	
F.5.7	0,356	5	1,148	5	-1,118	5	-0,222	5	0,018	5	-1,283	5	1,337	5	-0,014	5	
F.5.8	0,401	5	1,205	5	-1,208	5	-0,262	5	0,081	5	-1,394	5	1,323	5	-0,048	5	
F.5.9	0,383	5	1,197	5	-1,141	5	-0,191	5	0,115	5	-1,374	5	1,363	5	-0,175	5	
F.5.10	0,302	5	1,108	5	-1,067	5	-0,238	5	0,024	5	-1,332	5	1,246	5	-0,112	5	
F.6.1	0,274	6	1,250	6	-1,173	6	0,934	6	0,153	6	-1,272	6	1,182	6	-1,265	6	
F.6.2	0,368	6	1,081	6	-1,230	6	0,761	6	0,279	6	-1,146	6	1,168	6	-1,271	6	
F.6.3	0,329	6	1,120	6	-1,259	6	0,888	6	0,332	6	-1,196	6	1,237	6	-1,263	6	
F.6.4	0,306	6	1,167	6	-1,306	6	0,897	6	0,226	6	-1,233	6	1,232	6	-1,350	6	
F.6.5	0,317	6	1,159	6	-1,289	6	0,884	6	0,286	6	-1,201	6	1,225	6	-1,310	6	
F.6.6	0,378	6	1,084	6	-1,291	6	0,735	6	0,286	6	-1,104	6	1,191	6	-1,266	6	
F.6.7	0,280	6	1,143	6	-1,306	6	0,888	6	0,230	6	-1,197	6	1,178	6	-1,305	6	
F.6.8	0,299	6	1,141	6	-1,350	6	0,835	6	0,234	6	-1,213	6	1,282	6	-1,305	6	
F.6.9	0,270	6	1,199	6	-1,216	6	0,925	6	0,326	6	-1,117	6	1,092	6	-1,202	6	
F.6.10	0,287	6	1,178	6	-1,300	6	0,874	6	0,099	6	-1,258	6	1,175	6	-1,210	6	

Açıklamalar**F.1.1, ... , F.6.10**

: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

X

: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

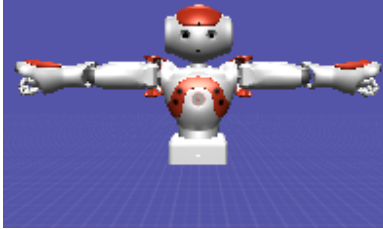
Y

: Hareket numaraları

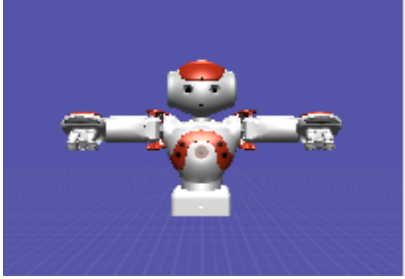
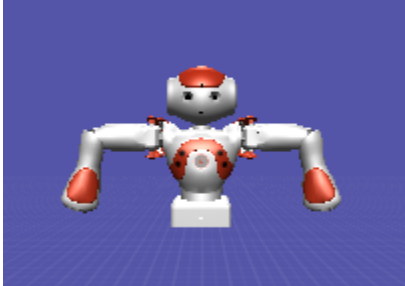
Örnek Gösterim**F.5.3**

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için F kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

Ek Tablo 6. Sınıflandırma uygulaması için H kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
H.1.1	0,274	1	1,351	1	-0,180	1	-0,667	1	0,006	1	-1,444	1	0,063	1	1,104	1	
H.1.2	0,148	1	1,386	1	-0,113	1	-0,231	1	-0,024	1	-1,475	1	0,057	1	1,397	1	
H.1.3	0,146	1	1,423	1	-0,119	1	-0,935	1	-0,067	1	-1,466	1	0,118	1	1,184	1	
H.1.4	0,132	1	1,484	1	-0,136	1	-0,249	1	-0,067	1	-1,558	1	0,055	1	0,330	1	
H.1.5	0,151	1	1,425	1	-0,125	1	-0,799	1	-0,063	1	-1,472	1	0,055	1	0,857	1	
H.1.6	0,153	1	1,461	1	-0,159	1	-0,862	1	-0,072	1	-1,418	1	0,062	1	-0,894	1	
H.1.7	0,137	1	1,414	1	-0,173	1	-0,860	1	-0,083	1	-1,472	1	0,038	1	0,806	1	
H.1.8	0,090	1	1,442	1	-0,154	1	-1,123	1	0,109	1	-1,379	1	0,091	1	1,386	1	
H.1.9	0,156	1	1,436	1	-0,185	1	-1,342	1	0,046	1	-1,431	1	0,051	1	0,724	1	
H.1.10	0,102	1	1,483	1	-0,133	1	-0,565	1	-0,146	1	-1,510	1	0,131	1	1,345	1	
H.2.1	-0,038	2	1,428	2	-1,289	2	-1,185	2	0,014	2	-1,475	2	1,311	2	1,389	2	
H.2.2	0,014	2	1,431	2	-1,413	2	-1,024	2	-0,095	2	-1,433	2	1,066	2	1,516	2	
H.2.3	0,068	2	1,404	2	-1,300	2	-1,080	2	0,017	2	-1,406	2	1,363	2	1,302	2	
H.2.4	0,006	2	1,405	2	-1,205	2	-1,085	2	-0,048	2	-1,406	2	1,311	2	1,411	2	
H.2.5	-0,027	2	1,420	2	-1,137	2	-1,069	2	-0,105	2	-1,397	2	1,312	2	1,424	2	
H.2.6	-0,021	2	1,456	2	-1,310	2	-1,086	2	-0,062	2	-1,475	2	1,441	2	1,394	2	
H.2.7	-0,277	2	1,247	2	-1,266	2	-0,784	2	-0,323	2	-1,295	2	1,502	2	1,399	2	
H.2.8	-0,217	2	1,292	2	-1,257	2	-0,906	2	-0,317	2	-1,314	2	1,490	2	1,369	2	
H.2.9	-0,095	2	1,396	2	-1,355	2	-1,072	2	-0,122	2	-1,468	2	1,490	2	1,488	2	
H.2.10	0,223	2	1,318	2	-1,321	2	-0,943	2	-0,252	2	-1,341	2	1,443	2	1,452	2	
H.3.1	0,251	3	1,342	3	-1,302	3	0,847	3	-0,100	3	-1,430	3	1,371	3	1,423	3	
H.3.2	0,220	3	1,332	3	-1,338	3	0,816	3	-0,185	3	-1,410	3	1,327	3	1,457	3	
H.3.3	0,299	3	1,309	3	-1,305	3	0,729	3	-0,250	3	-1,351	3	1,293	3	1,454	3	
H.3.4	0,123	3	1,211	3	-1,100	3	0,909	3	-0,292	3	-1,331	3	1,290	3	1,417	3	
H.3.5	0,290	3	1,113	3	-1,057	3	0,797	3	-0,316	3	-1,280	3	1,278	3	1,388	3	
H.3.6	0,261	3	1,191	3	-1,221	3	0,869	3	-0,289	3	-1,353	3	1,301	3	1,450	3	
H.3.7	0,266	3	1,152	3	-1,104	3	0,814	3	-0,309	3	-1,303	3	1,284	3	1,360	3	
H.3.8	0,194	3	1,124	3	-1,058	3	0,818	3	-0,285	3	-1,248	3	1,170	3	1,444	3	
H.3.9	0,188	3	1,184	3	-1,106	3	0,903	3	-0,285	3	-1,326	3	1,248	3	1,434	3	
H.3.10	0,087	3	1,528	3	-1,415	3	1,235	3	-0,261	3	-1,375	3	1,303	3	1,486	3	
H.4.1	-0,088	4	1,497	4	-1,320	4	-1,239	4	0,220	4	-1,355	4	1,298	4	-1,271	4	
H.4.2	-0,070	4	1,497	4	-1,497	4	-1,239	4	0,172	4	-1,401	4	1,360	4	-1,246	4	
H.4.3	-0,119	4	1,464	4	-1,292	4	-1,231	4	0,204	4	-1,369	4	1,234	4	-1,263	4	
H.4.4	-0,102	4	1,522	4	-1,088	4	-1,087	4	0,196	4	-1,364	4	1,380	4	-1,267	4	
H.4.5	-0,069	4	1,535	4	-1,038	4	-1,239	4	0,192	4	-1,358	4	1,183	4	-1,226	4	
H.4.6	-0,126	4	1,465	4	-1,474	4	-1,138	4	0,188	4	-1,355	4	1,471	4	-1,253	4	
H.4.7	-0,098	4	1,410	4	-1,326	4	-1,095	4	0,193	4	-1,314	4	1,322	4	-1,231	4	
H.4.8	-0,260	4	1,369	4	-1,456	4	-1,161	4	0,238	4	-1,305	4	1,472	4	-1,122	4	
H.4.9	-0,194	4	1,445	4	-1,386	4	-1,203	4	0,152	4	-1,420	4	0,996	4	-0,986	4	
H.4.10	-0,167	4	1,456	4	-1,406	4	-1,167	4	0,208	4	-1,428	4	1,483	4	-1,071	4	

Ek Tablo 6'nın devamı

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
H.5.1	-0,013	5	1,231	5	-1,131	5	-0,259	5	-0,033	5	-1,423	5	0,795	5	0,325	5	
H.5.2	-0,088	5	1,249	5	-1,195	5	0,130	5	-0,086	5	-1,481	5	1,507	5	0,249	5	
H.5.3	-0,070	5	1,332	5	-1,170	5	0,139	5	-0,070	5	-1,487	5	1,141	5	0,237	5	
H.5.4	-0,053	5	1,343	5	-1,198	5	0,103	5	-0,090	5	-1,469	5	1,378	5	0,287	5	
H.5.5	-0,096	5	1,232	5	-1,333	5	0,163	5	-0,127	5	-1,405	5	1,247	5	0,214	5	
H.5.6	-0,077	5	1,232	5	-1,381	5	0,179	5	-0,151	5	-1,482	5	1,489	5	-0,244	5	
H.5.7	-0,065	5	1,241	5	-1,425	5	0,157	5	-0,181	5	-1,424	5	1,502	5	-0,203	5	
H.5.8	-0,074	5	1,242	5	-1,329	5	0,155	5	-0,166	5	-1,422	5	1,511	5	-0,207	5	
H.5.9	-0,108	5	1,227	5	-1,491	5	0,196	5	-0,154	5	-1,447	5	1,510	5	-0,217	5	
H.5.10	-0,120	5	1,234	5	-1,375	5	0,188	5	-0,176	5	-1,444	5	1,521	5	-0,209	5	
H.6.1	0,153	6	1,320	6	-1,210	6	0,872	6	0,164	6	-1,284	6	1,251	6	-1,042	6	
H.6.2	0,157	6	1,358	6	-1,300	6	0,838	6	0,102	6	-1,364	6	1,327	6	-1,034	6	
H.6.3	0,116	6	1,264	6	-1,181	6	1,344	6	0,131	6	-1,315	6	1,201	6	-1,317	6	
H.6.4	0,110	6	1,454	6	-1,337	6	1,023	6	0,101	6	-1,428	6	1,313	6	-1,066	6	
H.6.5	0,163	6	1,279	6	-1,256	6	0,792	6	0,166	6	-1,276	6	1,353	6	-1,025	6	
H.6.6	0,212	6	1,312	6	-1,270	6	0,722	6	0,129	6	-1,368	6	1,419	6	-1,014	6	
H.6.7	0,154	6	1,306	6	-1,260	6	0,848	6	0,149	6	-1,315	6	1,385	6	-0,998	6	
H.6.8	0,137	6	1,426	6	-1,329	6	0,848	6	0,137	6	-1,383	6	1,456	6	-0,953	6	
H.6.9	0,150	6	1,443	6	-1,332	6	1,030	6	0,101	6	-1,413	6	1,363	6	-1,045	6	
H.6.10	0,110	6	1,362	6	-1,290	6	0,851	6	0,112	6	-1,417	6	1,250	6	-1,062	6	

Açıklamalar**H.1.1, ... , H.6.10****X****Y****Örnek Gösterim****H.5.3**

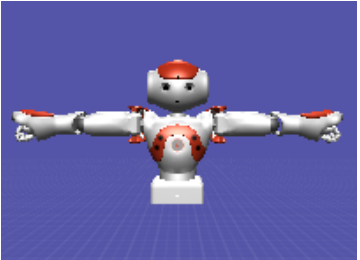
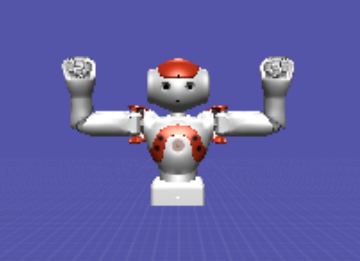
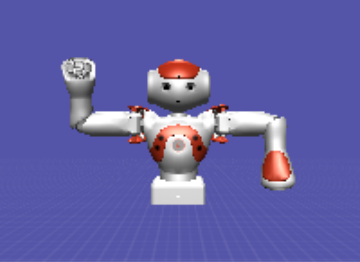
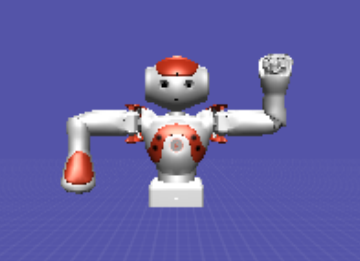
: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

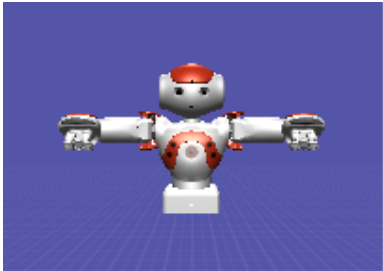
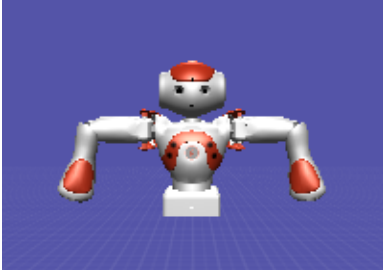
: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

: Hareket numaraları

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için H kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

Ek Tablo 7. Sınıflandırma uygulaması için O kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
O.1.1	0,250	1	1,396	1	-0,066	1	-0,021	1	0,152	1	-1,296	1	0,104	1	1,156	1	
O.1.2	0,046	1	1,501	1	-0,063	1	0,395	1	0,001	1	-1,457	1	0,106	1	0,027	1	
O.1.3	0,026	1	1,390	1	-0,021	1	-0,818	1	-0,052	1	-1,459	1	0,114	1	1,130	1	
O.1.4	0,089	1	1,525	1	-0,048	1	-1,345	1	0,009	1	-1,432	1	0,122	1	0,038	1	
O.1.5	0,183	1	1,472	1	-0,032	1	-1,118	1	0,022	1	-1,447	1	0,090	1	0,842	1	
O.1.6	0,167	1	1,478	1	-0,082	1	-1,336	1	0,028	1	-1,449	1	0,065	1	0,412	1	
O.1.7	0,099	1	1,528	1	-0,031	1	-1,332	1	-0,007	1	-1,512	1	0,102	1	0,720	1	
O.1.8	0,057	1	1,555	1	-0,030	1	-1,167	1	-0,006	1	-1,527	1	0,088	1	0,622	1	
O.1.9	0,084	1	1,529	1	-0,055	1	-0,751	1	0,036	1	-1,486	1	0,074	1	0,890	1	
O.1.10	0,109	1	1,487	1	-0,028	1	0,244	1	-0,023	1	-1,536	1	0,067	1	0,705	1	
O.2.1	0,269	2	1,236	2	-1,481	2	-1,225	2	0,227	2	-1,224	2	1,493	2	1,032	2	
O.2.2	0,082	2	1,342	2	-1,502	2	-1,283	2	0,084	2	-1,290	2	1,466	2	1,437	2	
O.2.3	0,097	2	1,300	2	-1,524	2	-1,259	2	0,047	2	-1,265	2	1,508	2	1,446	2	
O.2.4	0,094	2	1,262	2	-1,547	2	-1,260	2	0,053	2	-1,232	2	1,468	2	1,413	2	
O.2.5	0,155	2	1,228	2	-1,548	2	-1,237	2	0,009	2	-1,108	2	1,558	2	1,434	2	
O.2.6	0,352	2	1,142	2	-1,651	2	-1,216	2	0,224	2	-1,161	2	1,617	2	1,156	2	
O.2.7	0,269	2	1,171	2	-1,578	2	-1,237	2	0,183	2	-1,130	2	1,605	2	1,154	2	
O.2.8	0,199	2	1,379	2	-1,330	2	-1,195	2	0,187	2	-1,373	2	1,248	2	1,057	2	
O.2.9	0,320	2	1,231	2	-1,383	2	-1,204	2	0,331	2	-1,178	2	1,403	2	1,073	2	
O.2.10	0,309	2	1,223	2	-1,420	2	-1,247	2	0,342	2	-1,148	2	1,422	2	1,083	2	
O.3.1	0,197	3	1,058	3	-1,057	3	1,001	3	0,046	3	-1,308	3	1,783	3	1,343	3	
O.3.2	0,395	3	0,962	3	-1,078	3	0,637	3	-0,027	3	-1,263	3	1,834	3	1,452	3	
O.3.3	0,464	3	0,887	3	-1,072	3	0,468	3	0,028	3	-1,244	3	1,832	3	1,294	3	
O.3.4	0,451	3	0,857	3	-1,090	3	0,479	3	0,002	3	-1,190	3	1,855	3	1,283	3	
O.3.5	0,434	3	0,924	3	-1,135	3	0,506	3	-0,002	3	-1,144	3	1,891	3	1,352	3	
O.3.6	0,360	3	1,192	3	-0,903	3	0,599	3	0,124	3	-1,372	3	1,528	3	1,214	3	
O.3.7	0,356	3	1,036	3	-0,973	3	0,644	3	0,020	3	-1,307	3	1,578	3	1,384	3	
O.3.8	0,329	3	1,186	3	-1,138	3	0,795	3	0,058	3	-1,314	3	1,744	3	1,311	3	
O.3.9	0,288	3	1,042	3	-1,078	3	0,745	3	0,097	3	-1,252	3	1,759	3	1,243	3	
O.3.10	0,393	3	1,095	3	-1,005	3	0,675	3	0,089	3	-1,311	3	1,684	3	1,339	3	
O.4.1	0,068	4	1,387	4	-1,339	4	-1,087	4	0,125	4	-1,373	4	1,508	4	-0,969	4	
O.4.2	0,067	4	1,471	4	-1,575	4	-1,197	4	0,337	4	-1,148	4	1,220	4	-1,254	4	
O.4.3	0,051	4	1,505	4	-1,604	4	-1,207	4	0,303	4	-1,170	4	1,194	4	-1,185	4	
O.4.4	0,017	4	1,532	4	-1,599	4	-1,141	4	0,199	4	-1,206	4	1,219	4	-1,138	4	
O.4.5	0,150	4	1,457	4	-1,561	4	-1,324	4	0,195	4	-1,259	4	1,156	4	-1,019	4	
O.4.6	0,098	4	1,497	4	-1,475	4	-1,240	4	0,211	4	-1,204	4	1,199	4	-1,078	4	
O.4.7	0,084	4	1,503	4	-1,434	4	-1,140	4	0,201	4	-1,190	4	1,203	4	-1,054	4	
O.4.8	0,026	4	1,430	4	-1,446	4	-1,184	4	0,229	4	-1,187	4	1,172	4	-1,112	4	
O.4.9	0,112	4	1,403	4	-1,471	4	-1,307	4	0,270	4	-1,218	4	1,218	4	-1,280	4	
O.4.10	-0,005	4	1,437	4	-1,430	4	-1,051	4	0,131	4	-1,301	4	1,239	4	-1,056	4	

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
O.5.1	0,062	5	1,237	5	-0,994	5	-0,251	5	-0,066	5	-1,284	5	1,204	5	0,293	5	
O.5.2	0,166	5	1,504	5	-0,972	5	-0,170	5	0,035	5	-1,431	5	1,128	5	0,175	5	
O.5.3	0,158	5	1,481	5	-0,994	5	-0,248	5	0,083	5	-1,395	5	1,370	5	0,157	5	
O.5.4	0,135	5	1,437	5	-0,960	5	-0,317	5	0,037	5	-1,391	5	1,298	5	0,226	5	
O.5.5	0,180	5	1,414	5	-1,044	5	-0,309	5	0,022	5	-1,405	5	1,224	5	0,185	5	
O.5.6	0,162	5	1,400	5	-1,053	5	-0,288	5	0,040	5	-1,383	5	1,332	5	0,156	5	
O.5.7	0,101	5	1,368	5	-0,849	5	-0,259	5	-0,026	5	-1,375	5	0,980	5	0,140	5	
O.5.8	0,248	5	1,376	5	-0,924	5	-0,237	5	0,087	5	-1,416	5	1,246	5	0,033	5	
O.5.9	0,178	5	1,376	5	-0,911	5	-0,334	5	0,000	5	-1,423	5	1,259	5	0,143	5	
O.5.10	0,203	5	1,362	5	-1,123	5	-0,388	5	0,070	5	-1,409	5	1,365	5	0,142	5	
O.6.1	0,259	6	1,226	6	-1,156	6	0,668	6	0,229	6	-1,206	6	1,351	6	-1,055	6	
O.6.2	0,269	6	1,304	6	-1,313	6	0,674	6	0,201	6	-1,255	6	1,400	6	-1,048	6	
O.6.3	0,338	6	1,244	6	-1,282	6	0,634	6	0,178	6	-1,293	6	1,349	6	-1,113	6	
O.6.4	0,397	6	1,166	6	-0,936	6	0,319	6	0,217	6	-1,261	6	1,284	6	-1,081	6	
O.6.5	0,341	6	1,216	6	-1,219	6	0,588	6	0,182	6	-1,280	6	1,332	6	-1,041	6	
O.6.6	0,367	6	1,128	6	-1,121	6	0,383	6	0,263	6	-1,230	6	1,212	6	-1,045	6	
O.6.7	0,415	6	1,130	6	-1,023	6	0,375	6	0,213	6	-1,236	6	1,176	6	-0,976	6	
O.6.8	0,391	6	1,157	6	-1,067	6	0,422	6	0,261	6	-1,210	6	1,292	6	-1,001	6	
O.6.9	0,519	6	1,036	6	-1,218	6	0,206	6	0,214	6	-1,226	6	1,333	6	-0,974	6	
O.6.10	0,410	6	1,114	6	-1,240	6	0,480	6	0,318	6	-1,152	6	1,307	6	-1,133	6	

Açıklamalar**O.1.1, ... , O.6.10****X****Y****Örnek Gösterim****O.5.3**

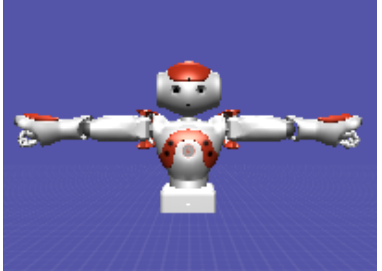
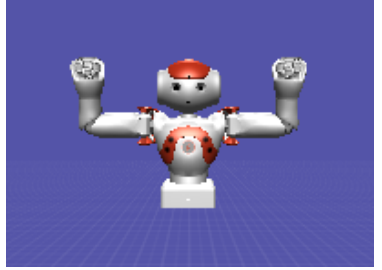
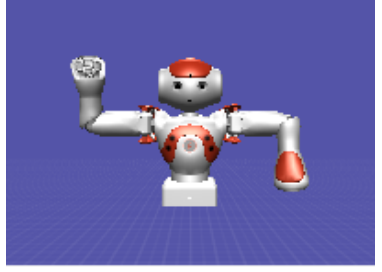
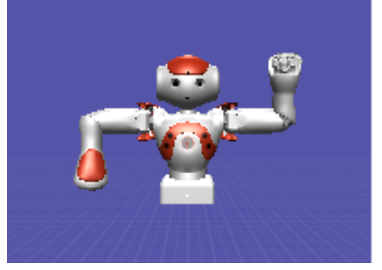
: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

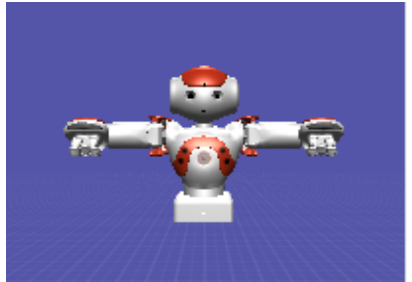
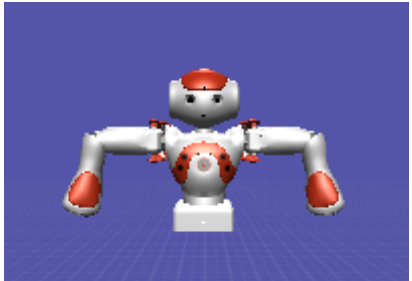
: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

: Hareket numaraları

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için O kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

Ek Tablo 8. Sınıflandırma uygulaması için T kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
T.1.1	0,022	1	1,430	1	-0,119	1	0,029	1	0,081	1	-1,396	1	0,094	1	0,696	1	
T.1.2	0,000	1	1,454	1	-0,181	1	0,325	1	-0,068	1	-1,491	1	0,108	1	1,091	1	
T.1.3	-0,075	1	1,374	1	-0,096	1	0,363	1	0,007	1	-1,447	1	0,112	1	0,740	1	
T.1.4	-0,083	1	1,378	1	-0,099	1	0,686	1	-0,032	1	-1,469	1	0,108	1	0,634	1	
T.1.5	-0,077	1	1,368	1	-0,062	1	0,607	1	-0,073	1	-1,459	1	0,078	1	0,658	1	
T.1.6	-0,087	1	1,371	1	-0,071	1	0,847	1	-0,073	1	-1,445	1	0,060	1	0,769	1	
T.1.7	-0,051	1	1,419	1	-0,127	1	0,580	1	-0,023	1	-1,430	1	0,124	1	0,791	1	
T.1.8	-0,051	1	1,400	1	-0,109	1	0,576	1	-0,042	1	-1,418	1	0,095	1	0,802	1	
T.1.9	-0,060	1	1,377	1	-0,090	1	0,340	1	-0,049	1	-1,412	1	0,097	1	0,983	1	
T.1.10	-0,071	1	1,360	1	-0,078	1	0,969	1	-0,053	1	-1,398	1	0,077	1	0,660	1	
T.2.1	0,119	2	1,432	2	-1,282	2	-0,946	2	0,156	2	-1,299	2	1,413	2	1,272	2	
T.2.2	-0,047	2	1,452	2	-1,375	2	-0,879	2	0,078	2	-1,361	2	1,377	2	1,318	2	
T.2.3	-0,202	2	1,264	2	-1,259	2	-0,540	2	-0,169	2	-1,413	2	1,206	2	1,377	2	
T.2.4	-0,210	2	1,277	2	-1,286	2	-0,537	2	-0,165	2	-1,418	2	1,193	2	1,344	2	
T.2.5	-0,200	2	1,272	2	-1,286	2	-0,535	2	-0,169	2	-1,436	2	1,205	2	1,378	2	
T.2.6	-0,124	2	1,375	2	-1,307	2	-0,831	2	0,036	2	-1,428	2	1,319	2	1,402	2	
T.2.7	-0,139	2	1,341	2	-1,346	2	-0,787	2	-0,010	2	-1,466	2	1,313	2	1,444	2	
T.2.8	-0,159	2	1,340	2	-1,364	2	-0,793	2	-0,053	2	-1,534	2	1,185	2	1,457	2	
T.2.9	-0,190	2	1,314	2	-1,386	2	-0,758	2	-0,010	2	-1,514	2	1,276	2	1,393	2	
T.2.10	-0,101	2	1,354	2	-1,393	2	-0,823	2	-0,053	2	-1,508	2	1,295	2	1,552	2	
T.3.1	-0,007	3	1,403	3	-1,535	3	1,501	3	-0,178	3	-1,391	3	1,204	3	1,441	3	
T.3.2	0,012	3	1,402	3	-1,277	3	1,443	3	-0,203	3	-1,416	3	1,171	3	1,471	3	
T.3.3	-0,003	3	1,373	3	-1,284	3	1,422	3	-0,205	3	-1,409	3	1,245	3	1,511	3	
T.3.4	0,069	3	1,389	3	-1,269	3	1,231	3	-0,152	3	-1,465	3	1,221	3	1,528	3	
T.3.5	0,123	3	1,163	3	-1,106	3	1,232	3	-0,133	3	-1,395	3	1,329	3	1,548	3	
T.3.6	-0,078	3	1,214	3	-1,206	3	1,364	3	-0,171	3	-1,403	3	1,294	3	1,482	3	
T.3.7	-0,058	3	1,214	3	-1,223	3	1,328	3	-0,172	3	-1,410	3	1,315	3	1,477	3	
T.3.8	-0,038	3	1,285	3	-1,309	3	1,290	3	-0,173	3	-1,438	3	1,398	3	1,441	3	
T.3.9	-0,002	3	1,278	3	-1,157	3	1,213	3	-0,182	3	-1,419	3	1,385	3	1,438	3	
T.3.10	-0,022	3	1,166	3	-1,114	3	1,237	3	-0,200	3	-1,418	3	1,383	3	1,463	3	
T.4.1	-0,212	4	1,291	4	-1,188	4	-0,757	4	0,183	4	-1,205	4	1,197	4	-1,136	4	
T.4.2	-0,299	4	1,253	4	-1,300	4	-0,636	4	0,108	4	-1,197	4	1,110	4	-1,191	4	
T.4.3	-0,254	4	1,288	4	-1,314	4	-0,730	4	0,179	4	-1,159	4	1,085	4	-1,300	4	
T.4.4	-0,239	4	1,316	4	-1,323	4	0,753	4	0,090	4	-1,317	4	1,166	4	-1,165	4	
T.4.5	-0,201	4	1,357	4	-1,208	4	-0,822	4	0,104	4	-1,194	4	1,070	4	-1,184	4	
T.4.6	-0,259	4	1,291	4	-1,339	4	-0,705	4	0,156	4	-1,332	4	1,248	4	-1,296	4	
T.4.7	-0,244	4	1,278	4	-1,226	4	-0,677	4	0,131	4	-1,266	4	1,215	4	-1,214	4	
T.4.8	-0,268	4	1,273	4	-1,214	4	-0,697	4	0,148	4	-1,233	4	1,216	4	-1,260	4	
T.4.9	-0,244	4	1,277	4	-1,233	4	-0,684	4	0,097	4	-1,150	4	1,053	4	-1,140	4	
T.4.10	-0,274	4	1,290	4	-1,225	4	-0,703	4	0,056	4	-1,218	4	1,113	4	-0,850	4	

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
T.5.1	-0,096	5	1,319	5	-0,912	5	0,206	5	-0,072	5	-1,393	5	1,412	5	0,021	5	
T.5.2	-0,080	5	1,264	5	-1,318	5	0,183	5	-0,071	5	-1,427	5	1,237	5	0,099	5	
T.5.3	-0,124	5	1,340	5	-0,685	5	0,285	5	-0,075	5	-1,526	5	0,873	5	-0,023	5	
T.5.4	-0,093	5	1,330	5	-1,196	5	0,185	5	-0,004	5	-1,405	5	0,923	5	-0,040	5	
T.5.5	-0,140	5	1,251	5	-1,221	5	0,230	5	-0,107	5	-1,338	5	0,905	5	-0,009	5	
T.5.6	-0,216	5	1,216	5	-1,008	5	0,363	5	-0,191	5	-1,349	5	0,937	5	-0,002	5	
T.5.7	-0,196	5	1,250	5	-0,790	5	0,274	5	-0,155	5	-1,368	5	0,880	5	0,088	5	
T.5.8	-0,102	5	1,288	5	-1,295	5	0,166	5	0,006	5	-1,353	5	0,931	5	-0,102	5	
T.5.9	-0,143	5	1,236	5	-1,259	5	0,205	5	-0,064	5	-1,280	5	1,044	5	-0,055	5	
T.5.10	-0,074	5	1,315	5	-1,348	5	0,095	5	-0,070	5	-1,372	5	0,929	5	-0,036	5	
T.6.1	-0,068	6	1,345	6	-1,343	6	1,305	6	0,123	6	-1,320	6	1,345	6	-1,193	6	
T.6.2	-0,028	6	1,383	6	-1,191	6	1,275	6	0,174	6	-1,310	6	1,173	6	-1,140	6	
T.6.3	-0,042	6	1,329	6	-1,293	6	1,227	6	0,148	6	-1,263	6	1,254	6	-1,108	6	
T.6.4	-0,014	6	1,246	6	-1,261	6	1,198	6	0,077	6	-1,187	6	1,189	6	-1,026	6	
T.6.5	-0,067	6	1,392	6	-1,233	6	1,257	6	0,103	6	-1,391	6	1,285	6	-1,071	6	
T.6.6	-0,044	6	1,333	6	-1,114	6	1,235	6	0,142	6	-1,279	6	1,094	6	-0,984	6	
T.6.7	-0,100	6	1,145	6	-1,091	6	1,236	6	0,072	6	-1,113	6	1,024	6	-0,927	6	
T.6.8	-0,150	6	1,330	6	-1,307	6	1,283	6	0,104	6	-1,385	6	1,340	6	-1,028	6	
T.6.9	-0,141	6	1,330	6	-1,344	6	1,274	6	0,085	6	-1,388	6	1,352	6	-0,989	6	
T.6.10	-0,117	6	1,324	6	-1,275	6	1,297	6	0,066	6	-1,332	6	1,258	6	-0,956	6	

Açıklamalar

T.1.1, ... , T.6.10

X

Y

Örnek Gösterim

T.5.3

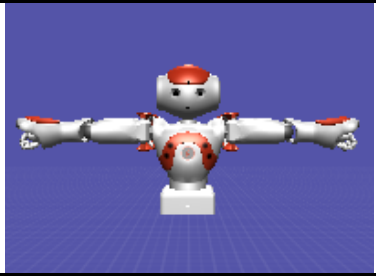
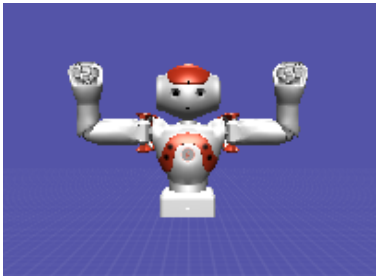
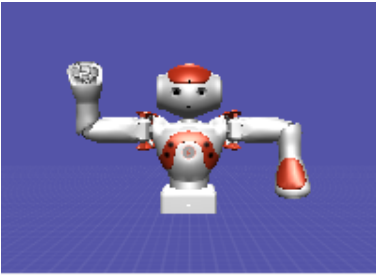
: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

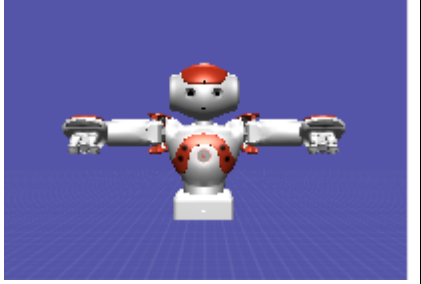
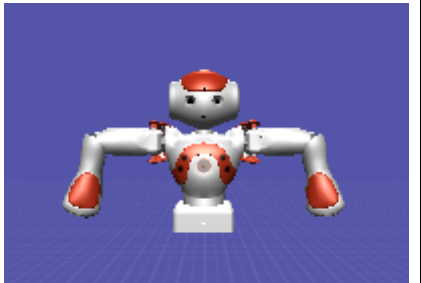
: Hareket numaraları

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için T kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

Ek Tablo 9. Sınıflandırma uygulaması için U kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
U.1.1	0,023	1	1,349	1	-0,129	1	-0,842	1	0,217	1	-1,321	1	0,145	1	0,885	1	
U.1.2	0,067	1	1,361	1	-0,236	1	-0,468	1	0,045	1	-1,312	1	0,217	1	1,426	1	
U.1.3	-0,027	1	1,416	1	-0,088	1	0,499	1	0,023	1	-1,439	1	0,102	1	1,445	1	
U.1.4	-0,031	1	1,504	1	-0,182	1	-0,807	1	-0,047	1	-1,465	1	0,114	1	1,058	1	
U.1.5	-0,023	1	1,506	1	-0,175	1	-0,797	1	-0,129	1	-1,377	1	0,119	1	1,166	1	
U.1.6	-0,033	1	1,388	1	-0,211	1	-0,674	1	-0,046	1	-1,324	1	0,269	1	1,403	1	
U.1.7	-0,023	1	1,513	1	-0,295	1	-0,822	1	-0,126	1	-1,395	1	0,126	1	0,818	1	
U.1.8	-0,069	1	1,497	1	-0,254	1	-0,830	1	-0,075	1	-1,411	1	0,120	1	1,219	1	
U.1.9	-0,002	1	1,483	1	-0,162	1	-1,035	1	-0,075	1	-1,431	1	0,122	1	1,100	1	
U.1.10	-0,032	1	1,477	1	-0,190	1	-1,011	1	-0,053	1	-1,432	1	0,109	1	1,059	1	
U.2.1	0,223	2	1,126	2	-1,409	2	-0,940	2	0,291	2	-1,093	2	1,595	2	0,570	2	
U.2.2	0,054	2	1,217	2	-1,547	2	-0,823	2	-0,033	2	-1,328	2	1,478	2	0,911	2	
U.2.3	0,074	2	1,195	2	-1,500	2	-0,849	2	0,031	2	-1,215	2	1,574	2	0,783	2	
U.2.4	0,025	2	1,141	2	-1,546	2	-0,826	2	0,005	2	-1,203	2	1,587	2	0,845	2	
U.2.5	0,063	2	1,097	2	-1,531	2	-0,933	2	0,023	2	-1,176	2	1,625	2	0,883	2	
U.2.6	0,067	2	1,127	2	-1,550	2	-0,890	2	0,090	2	-1,216	2	1,613	2	0,841	2	
U.2.7	0,014	2	1,444	2	-1,235	2	-1,009	2	0,053	2	-1,508	2	1,319	2	1,018	2	
U.2.8	0,067	2	1,375	2	-1,322	2	-1,006	2	0,031	2	-1,439	2	1,315	2	1,052	2	
U.2.9	-0,014	2	1,204	2	-1,513	2	-0,811	2	-0,017	2	-1,215	2	1,488	2	0,836	2	
U.2.10	0,156	2	1,309	2	-1,391	2	-1,082	2	0,170	2	-1,255	2	1,442	2	0,894	2	
U.3.1	0,244	3	0,992	3	-1,082	3	0,911	3	0,224	3	-1,344	3	1,891	3	0,916	3	
U.3.2	0,293	3	1,109	3	-1,051	3	1,107	3	0,130	3	-1,372	3	1,747	3	1,002	3	
U.3.3	0,443	3	1,041	3	-1,058	3	0,639	3	0,119	3	-1,361	3	1,459	3	0,884	3	
U.3.4	0,323	3	1,162	3	-1,186	3	0,887	3	0,181	3	-1,365	3	1,675	3	0,804	3	
U.3.5	0,308	3	1,063	3	-1,079	3	1,086	3	-0,222	3	-1,268	3	1,906	3	1,067	3	
U.3.6	0,350	3	0,985	3	-1,055	3	0,922	3	0,115	3	-1,353	3	1,794	3	0,770	3	
U.3.7	0,250	3	1,073	3	-1,220	3	0,912	3	0,176	3	-1,351	3	1,764	3	0,740	3	
U.3.8	0,315	3	1,215	3	-1,109	3	0,957	3	0,205	3	-1,261	3	1,774	3	0,781	3	
U.3.9	0,272	3	1,333	3	-1,275	3	1,011	3	0,098	3	-1,419	3	1,737	3	0,959	3	
U.3.10	0,337	3	1,156	3	-1,072	3	1,082	3	0,068	3	-1,439	3	1,395	3	0,943	3	
U.4.1	-0,075	4	1,545	4	-1,390	4	-0,845	4	0,373	4	-1,195	4	1,067	4	-1,228	4	
U.4.2	0,032	4	1,470	4	-1,359	4	-0,877	4	0,454	4	-1,006	4	0,999	4	-1,172	4	
U.4.3	-0,118	4	1,519	4	-1,447	4	-0,925	4	0,419	4	-1,073	4	1,113	4	-1,068	4	
U.4.4	-0,098	4	1,478	4	-1,492	4	-0,940	4	0,442	4	-1,048	4	1,176	4	-1,081	4	
U.4.5	0,003	4	1,476	4	-1,310	4	-0,942	4	0,536	4	-0,998	4	1,164	4	-1,173	4	
U.4.6	-0,087	4	1,483	4	-1,256	4	-0,942	4	0,458	4	-1,188	4	1,290	4	-1,000	4	
U.4.7	0,099	4	1,348	4	-1,306	4	-0,984	4	0,407	4	-1,137	4	1,210	4	-1,091	4	
U.4.8	-0,131	4	1,557	4	-1,487	4	-1,015	4	0,501	4	-1,035	4	1,113	4	-1,025	4	
U.4.9	-0,139	4	1,484	4	-1,355	4	-0,886	4	0,455	4	-1,031	4	1,139	4	-1,087	4	
U.4.10	-0,093	4	1,554	4	-1,403	4	-0,971	4	0,481	4	-0,933	4	1,099	4	-1,132	4	

Ek Tablo 9'un devamı

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
U.5.1	0,112	5	1,366	5	-0,867	5	-0,434	5	0,141	5	-1,257	5	1,495	5	-0,305	5	
U.5.2	0,058	5	1,235	5	-1,315	5	0,057	5	0,178	5	-1,166	5	1,569	5	-0,364	5	
U.5.3	0,011	5	1,163	5	-1,280	5	0,010	5	0,169	5	-1,104	5	1,522	5	-0,303	5	
U.5.4	0,027	5	1,145	5	-2,604	5	0,579	5	0,079	5	-1,054	5	1,490	5	-0,229	5	
U.5.5	0,021	5	1,078	5	-1,483	5	-0,082	5	0,102	5	-0,992	5	1,482	5	-0,146	5	
U.5.6	0,155	5	1,003	5	-1,531	5	-0,117	5	0,143	5	-0,994	5	1,466	5	-0,223	5	
U.5.7	0,051	5	1,385	5	-1,462	5	0,255	5	0,180	5	-1,273	5	1,582	5	-0,429	5	
U.5.8	0,022	5	1,197	5	-1,410	5	0,286	5	0,176	5	-1,184	5	1,554	5	-0,414	5	
U.5.9	0,014	5	1,125	5	-1,419	5	0,172	5	0,140	5	-1,163	5	1,478	5	-0,306	5	
U.5.10	0,058	5	1,109	5	-1,515	5	0,085	5	0,106	5	-1,162	5	1,461	5	-0,280	5	
U.6.1	0,168	6	1,313	6	-1,061	6	0,940	6	0,266	6	-1,190	6	1,037	6	-1,310	6	
U.6.2	0,149	6	1,316	6	-1,177	6	0,700	6	0,211	6	-1,227	6	1,255	6	-1,189	6	
U.6.3	0,174	6	1,282	6	-1,156	6	0,616	6	0,242	6	-1,211	6	1,171	6	-1,158	6	
U.6.4	0,215	6	1,207	6	-1,300	6	0,680	6	0,189	6	-1,201	6	1,255	6	-1,217	6	
U.6.5	0,184	6	1,282	6	-1,354	6	0,789	6	0,185	6	-1,221	6	1,311	6	-1,245	6	
U.6.6	0,221	6	1,265	6	-1,263	6	0,736	6	0,242	6	-1,258	6	1,358	6	-1,304	6	
U.6.7	0,138	6	1,280	6	-1,354	6	0,834	6	0,184	6	-1,260	6	1,345	6	-1,208	6	
U.6.8	0,272	6	1,083	6	-1,104	6	0,475	6	0,242	6	-1,179	6	1,209	6	-1,204	6	
U.6.9	0,266	6	1,137	6	-1,313	6	0,592	6	0,247	6	-1,149	6	1,220	6	-1,213	6	
U.6.10	0,214	6	1,171	6	-1,283	6	0,669	6	0,197	6	-1,186	6	1,228	6	-1,181	6	

Açıklamalar

U.1.1, ... , H.6.10

X

Y

Örnek Gösterim

U.5.3

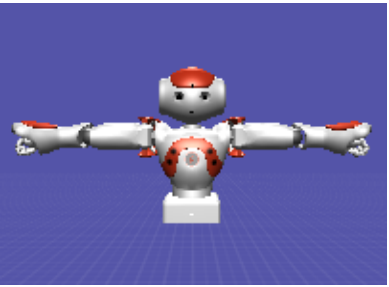
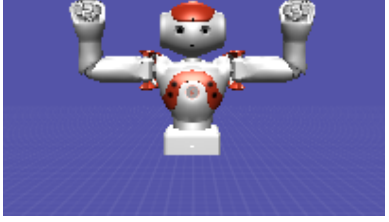
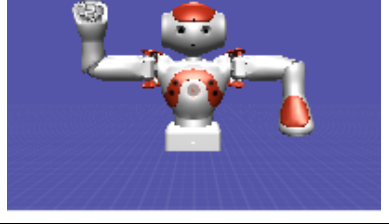
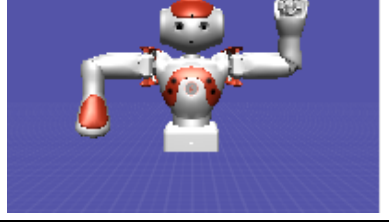
: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

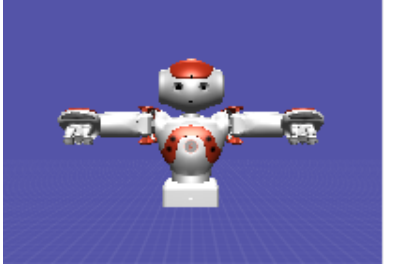
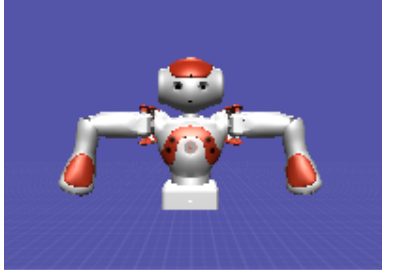
: Hareket numaraları

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için U kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

Ek Tablo 10. Sınıflandırma uygulaması için Ç kullanıcısından alınan eklem açıları

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
Ç.1.1	-0,342	1	1,183	1	-0,266	1	-0,472	1	-0,181	1	-1,408	1	0,138	1	0,050	1	
Ç.1.2	-0,229	1	1,342	1	-0,120	1	-0,870	1	0,004	1	-1,477	1	0,057	1	1,367	1	
Ç.1.3	-0,273	1	1,301	1	-0,051	1	-1,353	1	-0,100	1	-1,397	1	0,175	1	1,201	1	
Ç.1.4	-0,248	1	1,296	1	-0,042	1	0,477	1	-0,114	1	-1,382	1	0,173	1	1,246	1	
Ç.1.5	-0,297	1	1,211	1	-0,077	1	-0,422	1	-0,125	1	-1,326	1	0,143	1	1,201	1	
Ç.1.6	-0,327	1	1,244	1	-0,146	1	-0,679	1	-0,137	1	-1,391	1	0,012	1	0,416	1	
Ç.1.7	-0,330	1	1,232	1	-0,143	1	-0,734	1	-0,201	1	-1,367	1	0,041	1	1,104	1	
Ç.1.8	-0,330	1	1,222	1	-0,165	1	-0,546	1	-0,192	1	-1,372	1	0,032	1	0,587	1	
Ç.1.9	-0,368	1	1,094	1	-0,052	1	0,271	1	-0,307	1	-1,279	1	0,116	1	0,747	1	
Ç.1.10	-0,377	1	1,092	1	-0,061	1	0,040	1	-0,288	1	-1,280	1	0,139	1	0,699	1	
Ç.2.1	-0,328	2	1,131	2	-1,421	2	-0,389	2	-0,314	2	-1,191	2	1,441	2	1,091	2	
Ç.2.2	-0,176	2	1,279	2	-1,321	2	-0,591	2	-0,206	2	-1,295	2	1,360	2	1,067	2	
Ç.2.3	-0,186	2	1,256	2	-1,357	2	-0,597	2	-0,199	2	-1,299	2	1,365	2	1,075	2	
Ç.2.4	-0,233	2	1,137	2	-1,434	2	-0,576	2	-0,199	2	-1,251	2	1,447	2	1,106	2	
Ç.2.5	-0,250	2	1,122	2	-1,448	2	-0,546	2	-0,256	2	-1,208	2	1,453	2	1,125	2	
Ç.2.6	-0,102	2	1,285	2	-1,208	2	-0,774	2	-0,076	2	-1,342	2	1,204	2	1,053	2	
Ç.2.7	-0,100	2	1,299	2	-1,197	2	-0,774	2	-0,071	2	-1,335	2	1,210	2	1,020	2	
Ç.2.8	0,031	2	1,262	2	-1,676	2	-0,978	2	0,054	2	-1,304	2	1,629	2	1,003	2	
Ç.2.9	0,166	2	1,100	2	-1,859	2	-1,133	2	0,145	2	-1,196	2	1,806	2	0,892	2	
Ç.2.10	0,032	2	1,203	2	-1,407	2	-0,966	2	0,070	2	-1,231	2	1,452	2	0,968	2	
Ç.3.1	0,379	3	0,807	3	-0,926	3	0,503	3	0,051	3	-1,279	3	2,063	3	1,004	3	
Ç.3.2	0,228	3	0,948	3	-0,974	3	0,758	3	0,059	3	-1,307	3	1,754	3	0,970	3	
Ç.3.3	0,249	3	0,941	3	-0,987	3	0,721	3	0,038	3	-1,289	3	1,755	3	1,010	3	
Ç.3.4	0,213	3	1,097	3	-0,911	3	0,831	3	0,048	3	-1,381	3	1,716	3	1,010	3	
Ç.3.5	0,189	3	1,083	3	-0,905	3	0,870	3	0,057	3	-1,541	3	1,593	3	0,999	3	
Ç.3.6	0,297	3	0,784	3	-0,846	3	0,488	3	0,024	3	-1,348	3	1,788	3	1,059	3	
Ç.3.7	0,339	3	0,787	3	-0,842	3	0,494	3	-0,034	3	-1,334	3	1,770	3	1,111	3	
Ç.3.8	0,135	3	1,198	3	-1,347	3	1,006	3	-0,062	3	-1,437	3	1,502	3	1,098	3	
Ç.3.9	0,153	3	1,179	3	-1,345	3	0,960	3	-0,034	3	-1,467	3	1,516	3	1,060	3	
Ç.3.10	0,150	3	1,149	3	-1,308	3	0,962	3	-0,059	3	-1,439	3	1,588	3	1,099	3	
Ç.4.1	0,038	4	1,376	4	-1,491	4	-1,145	4	0,406	4	-1,023	4	1,116	4	-1,154	4	
Ç.4.2	0,143	4	1,336	4	-1,515	4	-1,072	4	0,320	4	-1,013	4	1,039	4	-1,229	4	
Ç.4.3	0,096	4	1,364	4	-1,513	4	-1,066	4	0,312	4	-1,009	4	1,036	4	-1,255	4	
Ç.4.4	0,139	4	1,323	4	-1,578	4	-1,078	4	0,307	4	-1,014	4	1,036	4	-1,262	4	
Ç.4.5	0,131	4	1,334	4	-1,577	4	-1,043	4	0,262	4	-1,068	4	0,830	4	-1,268	4	
Ç.4.6	0,223	4	1,285	4	-1,394	4	-1,064	4	0,367	4	-0,922	4	0,813	4	-1,225	4	
Ç.4.7	0,202	4	1,289	4	-1,381	4	-1,087	4	0,325	4	-0,950	4	0,832	4	-1,242	4	
Ç.4.8	0,053	4	1,383	4	-1,757	4	-0,987	4	0,377	4	-0,851	4	0,856	4	-1,228	4	
Ç.4.9	0,096	4	1,294	4	-1,545	4	1,036	4	0,362	4	-0,893	4	0,860	4	-1,237	4	
Ç.4.10	0,095	4	1,307	4	-1,515	4	-1,017	4	0,356	4	-0,877	4	0,884	4	-1,249	4	

Tablo 10'nun devamı

	LShoulderPitch		LShoulderRoll		LElbowRoll		LElbowYaw		RShoulderPitch		RShoulderRoll		RElbowRoll		RElbowYaw		HAREKETLER
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
Ç.5.1	-0,219	5	0,880	5	-0,945	5	0,237	5	-0,023	5	-1,364	5	1,772	5	-0,263	5	
Ç.5.2	-0,035	5	0,710	5	-0,771	5	-0,014	5	-0,127	5	-0,733	5	0,775	5	0,005	5	
Ç.5.3	-0,097	5	0,919	5	-0,787	5	0,137	5	-0,080	5	-1,064	5	0,957	5	-0,014	5	
Ç.5.4	-0,035	5	0,909	5	-0,808	5	0,105	5	-0,234	5	-1,027	5	0,764	5	0,067	5	
Ç.5.5	-0,021	5	0,936	5	-0,819	5	0,161	5	-0,234	5	-0,993	5	0,850	5	0,063	5	
Ç.5.6	-0,028	5	0,924	5	-0,833	5	0,162	5	-0,217	5	-0,992	5	0,873	5	0,091	5	
Ç.5.7	-0,168	5	0,919	5	-1,024	5	-0,064	5	-0,086	5	-0,987	5	0,813	5	0,273	5	
Ç.5.8	-0,192	5	0,894	5	-1,002	5	-0,035	5	-0,086	5	-0,981	5	0,835	5	0,298	5	
Ç.5.9	-0,057	5	0,797	5	-0,764	5	0,240	5	-0,156	5	-0,748	5	0,796	5	0,123	5	
Ç.5.10	-0,043	5	0,803	5	-0,868	5	0,120	5	-0,168	5	-0,750	5	0,765	5	0,148	5	
Ç.6.1	-0,126	6	1,052	6	-0,905	6	1,428	6	-0,083	6	-0,896	6	0,877	6	-1,084	6	
Ç.6.2	-0,013	6	1,203	6	-0,928	6	1,277	6	-0,084	6	-1,186	6	0,923	6	-1,146	6	
Ç.6.3	-0,069	6	1,022	6	-0,939	6	1,265	6	-0,081	6	-1,042	6	0,917	6	-1,060	6	
Ç.6.4	-0,089	6	0,926	6	-0,849	6	1,286	6	-0,141	6	-0,913	6	0,826	6	-1,023	6	
Ç.6.5	-0,051	6	1,139	6	-0,970	6	1,394	6	-0,087	6	-1,144	6	0,939	6	-1,142	6	
Ç.6.6	-0,074	6	1,165	6	-0,992	6	1,427	6	-0,079	6	-1,147	6	0,839	6	-1,069	6	
Ç.6.7	-0,049	6	1,218	6	-1,051	6	1,476	6	-0,111	6	-1,171	6	1,028	6	-1,203	6	
Ç.6.8	-0,027	6	1,150	6	-1,156	6	1,298	6	-0,072	6	-1,209	6	1,222	6	-1,078	6	
Ç.6.9	-0,011	6	1,162	6	-1,167	6	1,280	6	-0,061	6	-1,205	6	1,217	6	-1,114	6	
Ç.6.10	-0,025	6	0,961	6	-1,002	6	1,150	6	-0,102	6	-1,034	6	1,056	6	-1,031	6	

Açıklamalar

Ç.1.1, ..., Ç.6.10

: Kullanıcının baş harfinden sonraki ilk rakam hareket numarasını, ikinci rakam örnek sayısını göstermektedir.

X

: Eklem açılarının radyan cinsinden değerleri.

Y

: Hareket numaraları

Örnek Gösterim

Ç.5.3

: 5. Hareketin 3. Tekrarı için Ç kullanıcısından alınan kol eklem açılarını ifade eder.

ÖZGEÇMİŞ

Emrehan YAVŞAN, 1989 yılında Tekirdağ'ın Malkara ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Malkara'da tamamladı. 2007 yılında Kırklareli Fen Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında kazandığı Fırat Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nden 2012 yılında mezun oldu. Aynı yıl içinde Fırat Üniversitesi'nin Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimi devam ederken, Aralık 2013'de Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı üniversitede çalışmaya devam etmektedir.