

22 Serbestlik Dereceli Robot Kafası BUSRA

İbrahim Özcan
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
Email: ibrahim.ozcan@boun.edu.tr

H. Levent Akın
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
Email: akin@boun.edu.tr

Özetçe —Bu bildiri, 3B yazıcıyla oluşturduğumuz robot kafası sunulmuştur. BUSRA robot kafası şu anda geliştirmekte olduğumuz servis robotunun insan-robot etkileşimini sağlaması amacıyla tasarlanmıştır. Şimdiye kadar çok sayıda robot kafası platformu geliştirilmesine rağmen bu robot kafalarının istediğimiz özelliklere sahip olmaması nedeniyle yeni bir robot kafası tasarlayıp ürettik.

BUSRA'nın öncelikli olarak, insan-robot etkileşiminde duygu durumunu gösterme, konuşurken dudaklarını doğru oynatma, gözleriyle objeleri takip etme gibi çeşitli eylemlerde bulunması gerekmektedir. Bu nedenle, bu eylemleri kısmen gerçekleştirmek için oluşturulan robot kafalarının aksine, hepsini yapabilecek şekilde göz, kaş, göz kapağı, boyun, dudak ve çene mekanizmaları tasarlanmıştır.

İkinci olarak, geliştirmekte olduğumuz hizmet robotu Robot Operating System (ROS) [1] platformunu kullandığından, bu platforma entegre edilebilecek şekilde elektronik alt yapısı oluşturulmuştur.

Son olarak da, robotun hem erkek, hem kadın, hem de çocuk sesleri ile konuşmasına olanak verebilmek için cinsiyetsiz bir yüze sahip olması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler—Robot Tasarımı, Dudak Senkronizasyonu, 3B Yazıcı

I. GİRİŞ

İnsan-robot etkileşimini geliştirmek amacıyla çeşitli özellikte robot kafaları tasarlanmıştır. Her ne kadar çok sayıda benzerlikler barındırsa da oluşturulmalarındaki amaçları farklılaştırmıştır. Kafanın büyüklüğü ve ağırlığının yanı sıra robottaki sensörler, serbestlik dereceleri, insana benzerlik ölçütü ya da yapım aşamasında kullanılan teknolojiler bu farklılaşmaların temelini oluşturmıştır.

Bu çalışmada tasarlanan robot kafasının en önemli görevi kendisine verilen eylemleri yerine getirmesidir. Hizmet robotu projesi kapsamında bu görevler içerisinde en önemlisi, robotun duygu durumlarını ve konuşurken doğru dudak hareketlerini göstermesidir. Bu nedenle dudak yapısı, hem duygu durumlarını göstermesi hem de konuşma etkisi vermesi için özel olarak tasarlanmıştır.

Üç boyutlu baskı yöntemi ile prototipleme aşaması hızlanmış ve ucuzlamıştır. Bu teknolojiden önce tasarlanan parçalar çeşitli araçlar kullanılarak ve çok miktarda insanın çaba sarf etmesi sonucunda oluşmaktaydı. Bu yüzden 3B yazıcılar için Türkiye Robotbilim Konferansı, 2018

tasarlanan robot kafaları, kolları ve diğer robot parçaları çok daha az sorun ile karşılaşılarak oluşturulur. Bu nedenle bu çalışmada imalat sırasında oluşabilecek problemleri azaltmak için 3B yazıcı teknolojisi kullanılmıştır.

Robotun yapımı sırasında maliyeti de göz önüne alınmış ve tamamında özel üretim olmayan ucuz mekanik ve elektronik birleşenler kullanılmıştır.

Bu bildirin geri kalan bölümünde : Bölüm II'de İlgili Çalışmalar, Bölüm III'de Tasarım Özellikleri, Bölüm IV'de Mekanik Tasarımı, Bölüm V'de BUSRA'nın Sensörleri ve Elektronik, Bölüm VI'de Deneyler ve Deney Sonuçları, Bölüm VI'de Sonuç verilmiştir.

II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Literatürde geliştirilen robot kafalarını tasarım seçeneklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

- Işıklılandırma Merkezli Robot Kafaları
- Ekran Merkezli Robot Kafaları
- Projeksiyon Merkezli Robot Kafaları
- Kinematik Robot Kafaları
- Esnek Derili Kinematik Robot Kafaları

Işıklılandırma Merkezli Robot Kafaları üzerlerinde bulunan LED'lerini farklı renklerde yakabilmekte ve bu tür kafaları tasarlayanlar, bu renklere çeşitli anlamlar vermektedirler. Bunlar önceden belirlenmiş anlamlardır ve kullanıcılar renklere karşılık gelen durumları tecrübe ederek öğrenmelidirler. Bu tasarımın avantajı, hem düşük maliyetli olması, hem de tasarımının basit bir yapıya sahip olmasıdır. Ancak diğer kafa tiplerine kıyasla bu kafa tipi çok az yüz ifadesine sahiptir. Nao [2] ve Pepper [3] bu tip robot kafalarının en bilindik örnekleridir.

İsminden de anlaşılacağı gibi Ekran Merkezli Robot Kafaları, kendilerinde bulunan LCD'yi, robotun yüz ifadelerini göstermek için kullanmaktadırlar. Bu tip robot kafaların iki alt tipi vardır. Bazıları Buddy [4] robot kafası gibi yüzü göstermek için büyük ve bütün bir LCD'ye sahipken bazıları, göz, ağız gibi yüzün farklı bölümlerini göstermek için birden çok LCD ekran kullanmaktadır. RoboThespian [5]'in kafası göz için LCD kullanan kafalara bir örnektir.

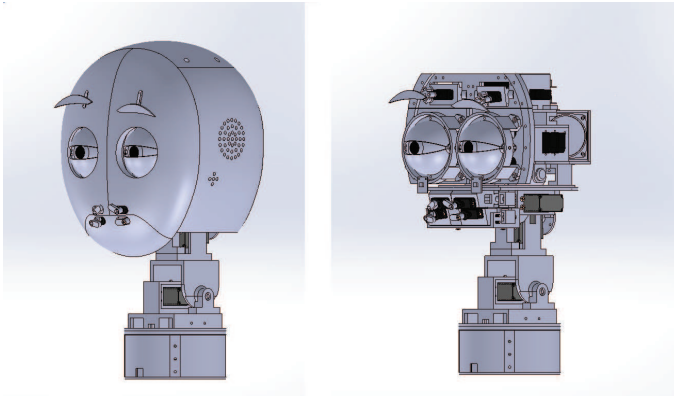
Projeksiyon Merkezli Robot Kafaları, Ekran Merkezli Robot Kafalarının gelişmiş versiyonudur. Tek LCD kullanan kafalarda yüz çok düz olup, bu durum gerçekçi görünme özelliğini azaltmaktadır. Bu nedenle görüntülenen yüzeye insanlardaki gibi girinti ve çıkıntılar verilmekte ve bu tür yüzeylerde görüntüyü sağlamak için projeksiyon kullanılmaktadır. Mask-Bot [6] 'da olduğu gibi, projeksiyon, yüz görüntüsünü insan yüzü şeklinde bir yüzeye yansıtmaktadır.

Kinematik Robot Kafaları, hareketli göz, göz kapağı, kaş, ağız vb. mekanik bileşenlerine sahip animatronik kafalardır. Bu tür kafalar insan benzeri hareket sistemi vardır ve çeşitli yüz ifadeleri insanlarınkine benzer hareketler sonucu oluşturulur. Genellikle bu tür robot kafaları Flobi [7], IURO [8] ve Fritz [9] gibi temel duygu durumlarını [10] görüntülemek için tasarlanmışlardır. Bununla birlikte, ilave serbestlik dereceleri ile, FR-i 2.0 [11] gibi konuşma eylemi yapabilenler de vardır.

Kinematik Robot Kafaları deri benzeri bir yapıya sahip değildir. Bu nedenle, kolayca robot olarak tanınabilirler. Bununla birlikte, kinematik kafalarda esnek deri kullanılırsa, daha gerçekçi bir insan görünüşü gösterebilir. Maalesef Mori'nin teorisine [12] göre, robotlar insanlara benzedikçe insanların onlardan beklentisi artmakta ve bu tür robotlar o beklentileri karşılayamadıklarından insanların onlara karşı sempatisi azalmaktadır. Bunu aşabilmenin en önemli yolu da 31 serbestlik derecesi olan Albert HUBO [13] gibi çok sayıda serbestlik derecesine robotların sahip olması ve insanlara yakın bir hareket gerçekleştirebilmeleridir.

III. TASARIM ÖZELLİKLERİ

A. Robotun Yüz Yapısı



Şekil 1. BUSRA robot kafasının CAD modeli (yüz için Dış Kapaklı ve Kapaksız hali)

Tasarım tanımlamamızda, robot kafasının herhangi bir cinsiyet kimliği taşıması kararlaştırılmıştır. Literatürdeki insansı yüz özelliklerine ve mimiklere sahip Flobi, Fritz gibi robotları, belli bir cinsiyete ya da belli bir yaş dilimine yakınlık göstermektedirler. Kullanıcılar robotu gördüğünde o robotu belli bir cinsiyete oturtamaması ancak robotun konuşma sırasında kullandığı sese göre robota bir cinsel kimlik verebilmeleri istenmiştir. Böylelikle robotun üzerindeki cinsiyet algısının değiştirilebilir olması amaçlanmıştır. Cinsiyetin yanında yaş algısını da gidermek için çocuk sesinin de robota uygun olması istenmiştir.

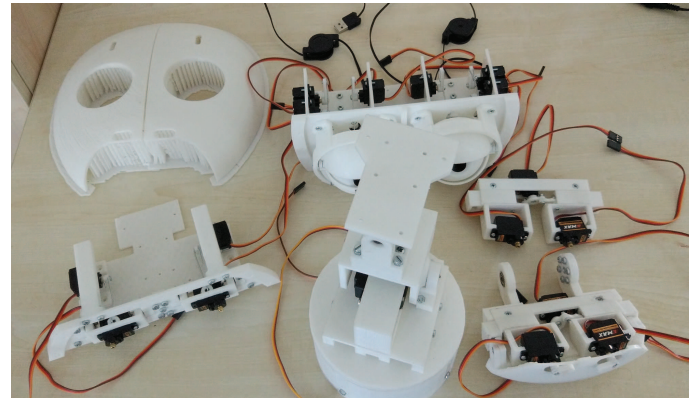
Cinsiyet özelliklerini olabildiğince az miktarda uygulayabilmek amacı ile robotun yüz tasarımı çok basit tutulmuş ve olabildiğince az ayrıntıya sahip olması istenmiştir.

Robotun tasarımı yapılırken insan anatomisi de göz önüne alınmış ancak gözlerin ve çenenin yerlerinin yüze göre oranlarına göre belirlenmesi dışında insan yüzündeki diğer temel oranlar uygulanamamıştır. Bunun başlıca nedeni normal bir yetişkin insan kafasının genişliğinin 15.15 cm [14] olmasına karşın robotun kafa genişliğinin 23 cm olmasıdır. Diğer nedeni ise robotun gözlerinin insan gözlerinden daha büyük olmasıdır. Göz içine yerleştiren kamera ile birlikte gözü hareket ettirebilmek için robotun göz modeli büyütülmüş ve insan anatomisinden uzaklaşmıştır. Şekil 1'de de görüldüğü gibi robotun gözleri kafasına oranla daha büyüktür.

Robotun dudak yapısı Fritz, IURO ve Flobi gibi kinematik robot kafalarında bulunankinden farklı olarak, hem çeşitli duyguları belirtmesi hem konuşma sırasında etkili dudak hareketleri yapabilmesi hem de çene mekanizmasını kullanabilmesi için alt ve üst dudak ayrı olarak tasarlanmıştır. FR-i 2.0'ın dudak yapısı konuşmaya çok elverişli olmuş olsa da duygu ifade etmede yeterli değildir. Bu neden ile dudaklardaki serbestlik derecesi artırılmış ve hareket mekanizması değiştirilmiştir. Robotun dudakları için yay mekanizması kullanılmıştır. Yayın hem büzdürmek hem de şeklini değiştirmek için uygulanacak kuvvetin az olması nedeniyle bu yöntem seçilmiştir.

B. 3B Basım Sınırlamaları

3B yazıcılardan çıkarılabilecek şekilde oluşturulan parçalar için en önemli sınırlama kullanılan 3B yazıcı belirlemektir. Boyut ve çözünürlük sınırlamaları için kafanın parçalarının çıkarıldığı Flashforge Dreamer 3D yazıcı belirleyici olmuştur. 3B yazdırılabilir parçaların maksimum hacmi 230 X 150 X 140 mm ve maksimum çözünürlüğü 80 mikrondur. Bu kısıtlamalar nedeniyle, büyük parçalar küçük parçalara bölünmüş ve vidalanarak tüm parçalar birbirine bağlanmıştır. Robot kafasının bazı kısımları Şekil 2 olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. BUSRA robot kafasının 3B yazıcıdan çıkan bazı parçaları

IV. MEKANİK TASARIMI

BUSRA, Tablo 1'de gösterildiği gibi 22 serbestlik derecesine sahiptir. Gözlerde, kaşlar, göz kapakları, boyun, dudaklar ve çene mekanizmalarında iki tür servo kullanılmıştır. Bunlardan biri EMax ES08MAII [15] servo motoru, diğeri Tower

Tablo I. SERBESTLIK DERECESI TABLOSU

Bölüm	Serbestlik Derecesi
Boyun	3
Göz	4
Göz Kapağı	4
Kaş	4
Dudak	6
Çene	1
Toplam	22

Pro MG946R [16] servo motorudur. İki de 4.8V - 6.0V da çalışabilmektedirler böylelikle servolar için ayrı birer güç kaynağı kullanılmasına gerek kalmamıştır. EMax ES08MAII 2.0 kg-cm torklu bir mini servodur. Tower Pro MG946R is 13 kg-cm torklu standart bir servo motorudur. Boyun ve çene mekanizması haricinde BUSRA'nın tasarımındaki çoğu mekanizma için 2.0 kg-cm'lik tork yeterlidir. Boyun ve çene mekanizması için ise bütün bir kafa sistemini taşıyacağından dolayı daha fazla tork gerekmektedir. Bu nedenle, Tower Pro MG946R bu mekanizmalar için kullanılmıştır.

A. Boyun Mekanikliği

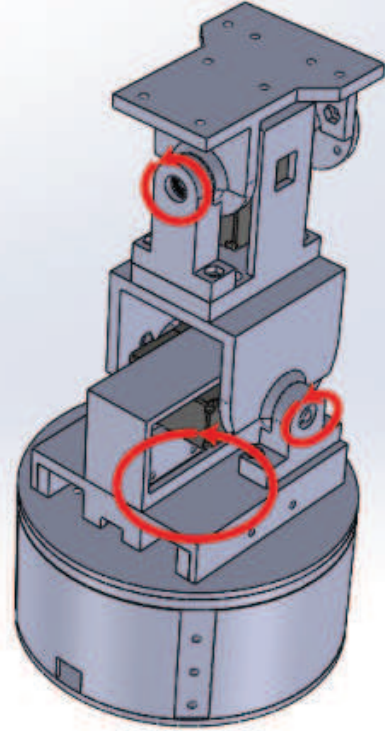
BUSRA'nın boyun mekanizması, Şekil 3'de de görüldüğü gibi yuvarlanma, hatve ve yalpa ekseninde 3 serbestlik derecesine sahiptir. Harmonik hareket sistemi yerine servo boyun sistemi kullanılmıştır. Harmonik hareket sistemi, insanlardaki boyun sistemi gibi tek bir eklem üzerinde hareket yapılmışçasına bir görüntü sağlamaktadır. Bu neden ile robotun boyun hareketini daha gerçekçi göstermektedir, ancak servo boyun sistemi daha ucuzdur ve bu sistemin yapımı oldukça kolaydır. Her eksenin maksimum açısal hızı, 350 derece/saniye [7] olan insan boynunun eklem hızından daha yüksektir. Ayrıca eksenin açısal menzili 60 derece olup bu sınır doğrudan kullanılan servo motorların sınırındadır. Boyun için maksimum tork gereksinimi pitch eksenini için oluşur. Şu an için başın ağırlık merkezi tam ortada olmadığından ve daha çok öne yakın olduğundan dolayı bu motor üzerinde aşırı stres oluşmaktadır.

Boyun kısmı ileride yapılacak hizmet robotu için ayrılabilir şekilde tasarlanmıştır. Boyun mekanizmasının çıkarılması robot kafasının çalışmasını engellemediğinden, bu mekanizma robot kafasından çıkarılıp, kafanın yeni platformlara takılabilmesi sağlanmıştır.

B. Göz Mekanikliği

Göz mekanizması her bir gözde ikişer serbestlik derecesi olmak üzere toplam dört serbestlik derecesinden oluşmaktadır Şekil 4'de de görüldüğü gibi bunlardan biri hatve eksenini için, diğeri ise yalpa eksenini içindir. Göz yuvarlağını döndürmek için tasarlanan eklem göz yuvarlağının merkezi ile aynı eksendedir. Bu neden ile eklemdeki dönme, göz yuvarlağının dönme merkezinin değişmemesini sağlamaktadır. Göz yuvarlağının dönme ekleminin ön tarafına kamera sığdırılmıştır. Bu neden ile kardan kavraması yerine, kameraya değmemesi için daha yassı bir eklem tasarlanmıştır.

İki serbestlik derecesi ile robot, insanların yapamayacağı göz hareketlerini yapabilme kabiliyeti edinmiştir. Pitch eksenini için kullanılan motorların her biri farklı derece değerlerine sahip olabilir, ancak robotun ürkütücü gözükmemesi gerektiğinden bu ekseninde her iki motora da aynı derece verilmiştir



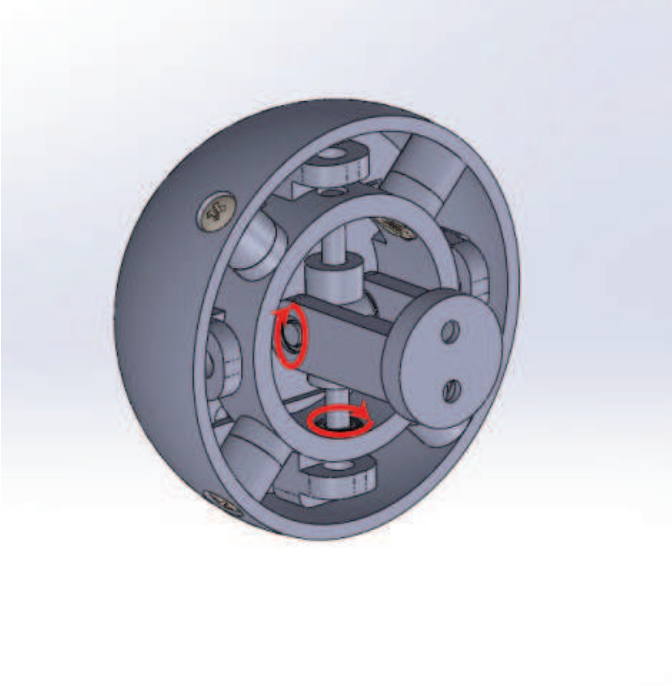
Şekil 3. BUSRA'nın boynu için tasarlanan 3 serbestlik dereceli mekanizma

Göz mekanizmasındaki hareket eden eksenler tendon mekanizması yardımıyla hareket ettirilirler. İtme ve çekme işlemleri için 1 mm'lik paslanmaz çelik teller kullanılmıştır. Şekil 4'de de görüldüğü gibi, itme ve çekme işlemleri için eklem üzerine yuvalar yapılmış. İtme ve çekme eylemleri gerçekleştirilirken, sürtünme tellerde bükülmeye neden olabilmekte ve bunu engellemek için dönme noktalarında rulman kullanılmıştır.

C. Göz Kapağı Mekanikliği

Göz kapağı mekanikliğinde üst ve alt göz kapakları ayrı olarak hareket ettirilmiştir. Her göz kapağı, toplamda dört serbestlik derecesi olmak üzere açma ve kapama işlemleri için bir serbestlik derecesine sahiptir. Bu mekanizma göz mekanizmasında olduğu gibi tendon mekanizması tarafından yönlendirilir.

Üst göz kapağı, alttaki göz kapağına göre daha fazla hareket alanına sahiptir. Bu özelliğiyle insanlardaki göz kapağı hareketine uyum sağlamaktadır.

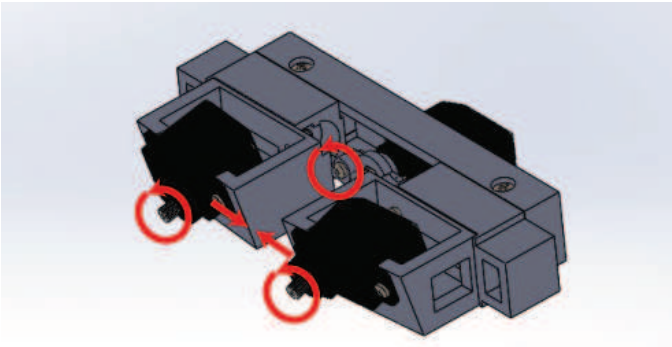


Şekil 4. BUSRA'nın gözü için tasarlanan 2 serbestlik dereceli eklem

D. Kaş Mekanikliği

Robotun kaşlarında toplam dört serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bunlar yuvarlanma ve hatve eksenleri içindir. Hatve ekseninde de diğer mekanizmalarda kullanıldığı gibi tendon mekanizmasını kullanılmıştır, ancak yuvarlanma eksenini hareketleri için kullanılmamıştır. Roll eksenini için, 27mm uzunluğunda ve 3mm yarıçapı olan paslanmaz çelik bir çubuk doğrudan servo kafasına bağlanmıştır.

E. Dudak Mekanizması



Şekil 5. Alt Dudak mekanizması

BUSRA'da dudakların yay ve motor mekanizmaları üst ve alt dudak olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Şekil 5 da gösterildiği gibi üst ve alt dudak mekanizmaları üçer serbestlik derecesine sahiptir. İki serbestlik derecesi yayların kıvrılmasını sağlama amacıyla kullanılmaktadır ve bir serbestlik derecesi yayların iki ucunu birbirlerine yaklaştırmak için kullanılmaktadır.

Tablo II. BUSRA ÜZERİNDEKİ SENSÖRLER

Algılama	Cihaz	Miktar
Görsel	Mini Kamera	2
İşitsel	Mikrofon	2

F. Çene Mekanizması

Çene mekanizması için yalnızca bir serbestlik derecesi kullanılmıştır ve sadece kapatma ve dereceyle açma eylemleri uygulanmıştır.

V. BUSRA'NIN SENSÖRLERİ VE ELEKTRONİĞİ

A. BUSRA'nın Sensörler

Robot kafasında kamera ve mikrofon olmak üzere iki tür sensör bulunmaktadır. Kameralar BUSRA'nın iki gözünde göz bebeğinin olduğu yerde bulunmaktadır. Kameraların çözünürlüğü 640×480 piksel ve çerçeve hızı 30 FPS'dir. Odak aralığı 20 mm'dir ve robottan 50 cm uzakta konuşmak için optimize edilmiştir. Bu kameranın otomatik odaklama özelliği yoktur. Bu nedenle 50 cm'den daha yakın bir mesafede görüntü bulanıklaşır. Ayrıca iki adet mikrofona sahiptir. Robot kafalarına sığdırabilmek için sadece ana kısımları kalacak şekilde masaüstü mikrofonları parçalanmıştır. Bu mikrofonlar ile 60 cm uzaklıkta konuşulan kelimeleri Google Konuşma Tanıma [17] uygulamasının algıladığı tecrübe edilmiştir.

B. BUSRA'nın Elektroniği

Robotun elektronik bölümünde, 22 servo kontrolü için Arduino Mega 2560 R3 Kartı ve Arduino Mega Servo Shield kullanılmıştır. Arduino Mega Kartı, 48 adet servoyu kontrol etme özelliğine sahiptir. Bununla birlikte, EMax ES08MAII ve Tower Pro MG946R için gereken akım Arduino Mega'nın sağladığından daha fazladır. Bu nedenle, tüm bu servoların kullanılabilmesi için ilave güç kaynağı kullanılmıştır. BUSRA, hizmet robotun kafası olması için tasarlanmış ve hizmet robotuna takıldığı zaman bu robotun 24V'luk pillerinden beslenecektir. Bu nedenle, Arduino Kartı ve Shield'ı ile birlikte DC-DC Gerilim Azaltıcı robot kafasına dahil edilmiştir. Şu anda herhangi bir çeviricide ısınma gözlemlenmediği için robot kafasına fan takılmamıştır, ancak fan takımı için yer tasarıma konulmuştur.

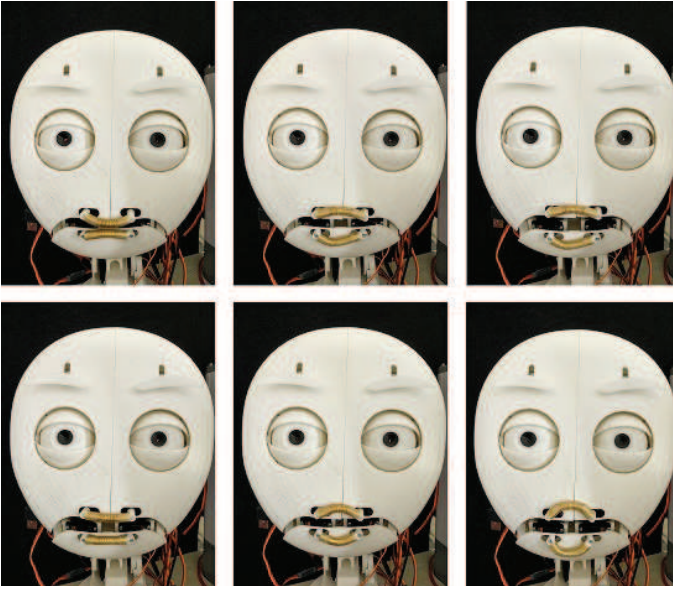
Algılama, konuşma sentezi ve diğer hesaplamaların yapıldığı kartlar robot kafasının içinde bulunmamaktadır. Bu sebepten ötürü Arduino Mega kartında ROS hizmetleri çalışmakta ve robot kafası - bilgisayar ilişkisi seri haberleşme üzerinden sağlanan ROS hizmet mesajlarıyla oluşturulmaktadır.

VI. DENEYLER VE DENEY SONUÇLARI

A. Dudak Senkronizasyonu Deneyi

BUSRA dudak senkronizasyonu yapmak için dudaklar ve çenede yedi serbestlik derecesine sahiptir. Geliştirilmekte olan hizmet robotu Türkçe konuşacağı için dudak senkronizasyonunda Türkçe harflerin dudak hareketleri esas alınmıştır.

Türkçe'de dudak şekilleri ve çene konumları sekiz grup halinde sınıflandırılmıştır [18]. Sessiz durumdayken dudak hareketleri olarak doğal dudak şekli ve çene açıklığı kullanılmıştır ve (f, v) harf sınıfı için, (b, m, p) dudak hareketi



Şekil 6. Sol-Üstten Sağ-Alta doğru Harf Setleri: (b, m, p), (c, ç, d, g, h, k, n, r, s, t, y, z), (a, e), (i, i, l), (o, ö), (u, ü)

kullanılmıştır. Dudak hareketlerini Şekil 6 'de gösterildiği şekilde uygulanmıştır.

Konuşma sırasında dudak hareketleri arasındaki geçişin düzgün şekilde yapılabilmesi için geçişler 50 milisaniyede gerçekleşecek şekilde ayarlanmıştır. Bu süre [11]'de belirtildiği üzere yeterli bir süredir.

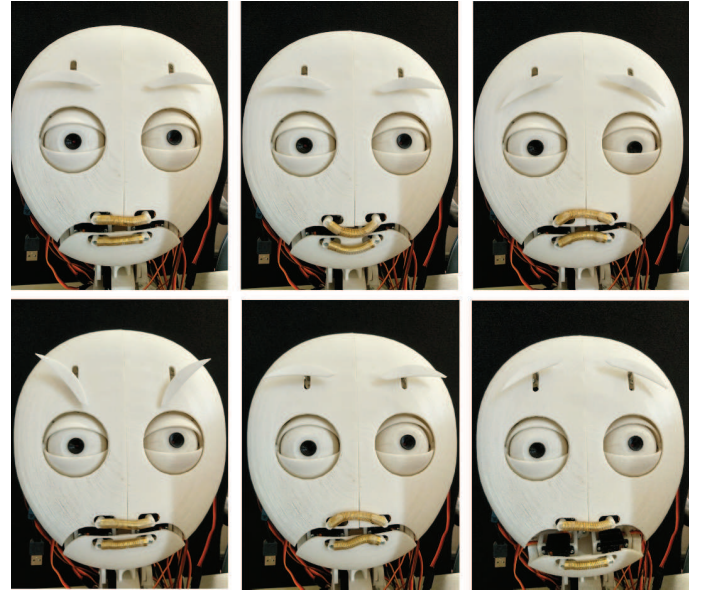
Robotumuzun dudak hareketlerini 33 kişi üzerinde test edilmiştir. Deney düzeneğinde kullanıcılar robotun karşısına oturmuş ve robot kullanıcıları kendini tanıtmıştır. Kendisini tanıtmaya sabit bir metin olup, her kullanıcıya aynı şekilde söylenmiştir. Robotun konuşma sırasında dudak ve çene hareketleri dışında başka bir harekette bulunmamıştır. Robotun konuşması ve deney bitiminden sonra da katılımcılara robotun dudak hareketlerini doğru yapıp yapmadığını sorulmuştur. Katılımcıların %48'i dudak hareketlerini doğru yaptığını söylerken %33'ü kısmı doğru yaptığını (yaklaşık olarak dudak hareketlerin yarısını doğru yaptığını), %10'u ise yanlış şekilde yaptığını söylemiştir. Geri kalan %9'u ise konuşma sırasında dudak hareketlerine dikkat etmediğini belirtmiştir. Böylece çoğunlukla robotun doğru dudak hareketleri yaptığını gözlenmiştir.

B. Duygu Gösterme Deneyi

BUSRA'nın yapılış amaçlarından biri de kullanıcıları farklı yüz ifadeleri gösterme özelliğidir. Bu deneyde yüz ifadelerinin gösterimi için beş ana duygu ifadesini kabul edilmiştir. Bunlar mutluluk, üzümlük, sinirlilik, korkma ve şaşkınlıktır.

Robotun beş ana duyguyu gösterme şekli ve doğal halinde nasıl duracağı Flobi [7] robotunun duyguları gösterme şekli baz alınarak belirlenmiştir. Robotun bütün eksenlerinin açıları bu duyguları verebilmek için elle belirlenmiştir. Flobi'de çene mekanizması bulunmadığı için, duygu durumu göstermede farklı olarak, şaşkınlık duygusunda çene açılmıştır.

Bu deney dudak hareketlerinin ve robotun cinsiyet



Şekil 7. Sol-Üstten Sağ-Alta doğru: Doğal, Mutlu, Üzgün, Sinirli, Korkmuş and Şaşkın

deneyinin yapıldığı düzenekten ayrı olarak yapılmıştır. Bu deneye 29 kişi katılmıştır. Kullanıcılara ilk önce robotun içinde bulunduğu duygu durumları sırayla ne oldukları söylenmeden gösterilmiş ve bu durumları kullanıcıların bulması beklenmiştir. Ayrıca, kullanıcılar bir duyguyu birden fazla resim için seçebilmiştir. Bu deney sırasında robota duygu durumları için daha önceden belirlenen açı değerleri dışında başka bir açı değeri verilmemiştir. Duygular içerisinde kullanıcılar %76 olasılıkla mutluluğu doğru bulurken, %93 olasılıkla üzümlüğü, %89 ile öfkeyi, %37 ile korkuyu ve %48 ile şaşırma doğru bulmuşlardır. En çok birbirleriyle karıştırılan duygu durumu ise korkma ve şaşırma duygularıdır. Böylece BUSRA'nın bazı duyguları insanlara doğru aktardığı ve bazı duyguların ise yeniden belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

C. Robot Cinsiyet Deneyi

Bu deney dudak senkronizasyon deneyinin devamında gerçekleştirilmiştir. Robotun cinsiyetinin erkeğe, kadına ya da çocuğa ne kadar yakın olup olmadığı anlaşılmasına yöneliktir.

Robotun kendini tanıtmaya sonrasında robot konuşma sesinin seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. Robotun konuşacağı seslerin özellikleri önceden belirlenmiştir. Bu sesler erkek, kadın ve çocuk sesi özelliklerine sahiptir. Ayrıca daha iyi anlaşılması için robot hangi seste konuştuğunu o ses ile konuşurken belirtmiş ve bu sayede kullanıcıların seslerdeki cinsiyet bilgisini alması sağlanmıştır. Kullanıcılar bu üç sestenden birisini seçtirilmiştir. Bu deney sırasında %36 olasılıkla erkek sesi, %27 olasılıkla da kadın sesi seçilmiştir. Geri kalan %37 ise çocuk sesini seçmiştir. Ses seçimleri göz önünde bulundurulduğunda robot yüzünün herhangi bir cinsiyete yakınlığı bulunmadığı anlaşılmıştır.

VII. SONUÇ

Yapılan deney sonuçlarına göre robot tasarımı kendinden beklenen özellikleri sergilemiştir. Serbestlik derecesi olarak

çeşitli duyu durumlarını göstermenin yanında dudak senkronizasyonu da yapabilmektedir. Ayrıca çene mekanizmasının ayrı olması ve üst ve alt dudak mekanizmalarının birbirlerinden bağımsız olarak çalışabilmesi konuşma sırasında kelimelere vurgu verme ve duyguları daha iyi belirtme konularında avantaj sağlamaktadır.

Herhangi bir cinsiyet özelliğine sahip olmadığı için diğer robot kafalarındaki gibi tek bir cinsiyet özelliğine sahip ses ile sınırlanmamaktadır. Herhangi bir ses sentezleme programında üretilen ses ile konuşabilmesinin herhangi bir sorun oluşturmayacağı gösterilmiştir.

Literatürdeki robot kafaların toplam maliyetleri belirtilmemiştir, ancak kullanılan malzemelerden ve kamera gibi birleşenlerinden maliyetlerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu robot kafasının üretim maliyeti bütün kullanılan malzemeler ile birlikte 2000 TL den daha az tutmuştur. 2 filament makarası (1 kg PLA+) kullanılarak bütün parçaları basılabilmektedir.

Maliyeti düşürmek için kullanılan motorlar bize yüksek bir hassasiyet sunamamıştır. Ancak, yüzdeki ifadeleri belirtmede ve dudak hareketlerini doğru yapabilmeye engel oluşturmamıştır.

KAYNAKÇA

- [1] ROS, *ROS*, 2017, accessed at December 2017. [Online]. Available: <http://www.ros.org/>
- [2] S. Robotics, *Who is NAO?*, 2017, accessed at December 2017. [Online]. Available: <https://www.ald.softbankrobotics.com/en/robots/nao/find-out-more-about-nao>
- [3] —, *Who is Pepper?*, 2017, accessed at December 2017. [Online]. Available: <https://www.ald.softbankrobotics.com/en/cool-robots/pepper>
- [4] B. F. Robotics, *Buddy The First Companion Robot*, 2017, accessed at December 2017. [Online]. Available: <http://www.bluefrogrobotics.com/en/buddy/>
- [5] E. Arts, *RoboThespian*, 2017, accessed at December 2017. [Online]. Available: <https://www.engineeredarts.co.uk/robothespian/>
- [6] T. Kuratate, Y. Matsusaka, B. Pierce, and G. Cheng, ““mask-bot”: A life-size robot head using talking head animation for human-robot communication,” in *Humanoid Robots (Humanoids), 2011 11th IEEE-RAS International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 99–104.
- [7] I. Lütkebohle, F. Hegel, S. Schulz, M. Hackel, B. Wrede, S. Wachsmuth, and G. Sagerer, “The bielefeld anthropomorphic robot head “flobi”,” in *Robotics and automation (ICRA), 2010 IEEE international conference on*. IEEE, 2010, pp. 3384–3391.
- [8] D. Wollherr, S. Khan, C. Landsiedel, and M. Buss, “The interactive urban robot iuro: Towards robot action in human environments,” in *Experimental Robotics*. Springer, 2016, pp. 277–291.
- [9] XYZbot, *Fritz: A Robotic Puppet*, 2016, accessed at December 2017. [Online]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/1591853389/fritz-a-robotic-puppet>
- [10] P. Ekman and W. V. Friesen, *Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial clues*. Ishk, 2003.
- [11] K.-G. Oh, C.-Y. Jung, Y.-G. Lee, and S.-J. Kim, “Real-time lip synchronization between text-to-speech (tts) system and robot mouth,” in *RO-MAN, 2010 IEEE*. IEEE, 2010, pp. 620–625.
- [12] M. Mori, “The uncanny valley,” *Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 33–35, 1970.
- [13] J.-H. Oh, D. Hanson, W.-S. Kim, Y. Han, J.-Y. Kim, and I.-W. Park, “Design of android type humanoid robot albert hubo,” in *Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE, 2006, pp. 1428–1433.
- [14] C. Gordon, T. Churchill, C. Clauser, B. Bradtmiller, J. McConville, I. Tebbets, and R. Walker, “1988 anthropometric survey of us army personell, summary statistics,” 1989.
- [15] E. Model, *EMAX ES08MA II 12g Mini Metal Gear Analog Servo for RC Model*, 2017, accessed at December 2017. [Online]. Available: <https://www.emaxmodel.com/es08ma-ii.html>
- [16] TowerPro, *MG946R*, 2017, accessed at December 2017. [Online]. Available: <http://www.towerpro.com.tw/product/mg946r/>
- [17] Google, *SpeechRecognizer*, 2017, accessed at December 2017. [Online]. Available: <http://developer.android.com/reference/android/speech/SpeechRecognizer.html>
- [18] Z. Melek and L. Akarun, “Automated lip synchronized speech driven facial animation,” in *Multimedia and Expo, 2000. ICME 2000. 2000 IEEE International Conference on*, vol. 2. IEEE, 2000, pp. 623–626.