İnsansı Robotlarda Sağlarlık Tabanlı Kavram Gelişimi ve Alet Kullanımı

Proje No: 109E033

Doç.Dr. Erol Şahin

MART 2013
ANKARA

ÖNSÖZ

Bu rapor TÜBİTAK tarafından 1 Eylül 2009- 1 Şubat 2013 tarihleri arasında desteklenen 109E033 nolu İnsansı Robotlarda Sağlarlık Tabanlı Kavram Gelişimi ve Alet Kullanımı adlı proje çerçevesinde gerçekleştirilmiş olan çalışmaları özetlemektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 2

ÖZET 6

ABSTRACT 7

GİRİŞ 8

GENEL BİLGİLER 8

GEREÇ YÖNTEM 10

BULGULAR 12

Sağlarlıkların öğrenilmesi 12

İsim, sıfat ve fiillerle ifade edilen kavramların sağlarlıklarla ilişkilendirilmesi 13

İnsan davranışlarının robotun kendi davranışları üzerinden tanınması 17

Alet sağlarlıklarının öğrenilmesi 19
- **Alet sağlarlıklarının öğrenilmesi ve analizi** 25
- **Sağlarlıklar ve Nitelikler arasındaki ilişkilerin analizi** 26
- **Alet sağlarlıklarının nesnenin pozisyonuna göre değişimi** 28
- **Daha önceden görülmemiş nesnelerin sağlarlıkları** 29

TARTIŞMA SONUÇ 30

REFERANSLAR 33

ŞEKİLLER

Şekil 1: iCub robot platformu....9
Şekil 2: iCub'a sahip olan üniversitelerin dünyadaki dağılımı....9
Şekil 3: iCub çevresine kurulan araştırma altyapısı....10
Şekil 4: iCub berimsel altyapı şeması....11
Şekil 5: Robotun gövdesi ve çevresinin ayrılarak masa üstündeki nesnelerin ayrılması....11
Şekil 6: Arkaplandan ayrılan nesnelerden çıkarılan özellikler....12
Şekil 7: PA-10 robot kolu ve Gifu Hand III elinden oluşan robot platformu....12
Şekil 8: Etki uzayındaki değişik etkiler hiyerarşik bir şekilde kendi-kendine kategorize edilmiştir....13
Şekil 9: En soldaki panel robota yapılması istenen etkinin gösterimi vardır. İkinci panelde nesnelerin bu iki durumdaki özellik vektörleri ve bunların farkı gösterilmektedir. Sağdaki 4 panelde ise hedefe ulaşmak için yapılan planlar vardır....13
Şekil 10: Fiillerle ifade edilen kavramların öğrenilmesine ilişkin sistem....14
Şekil 11: Robottan istenen etkileşimin (bir fiile karşılık gelen) gösterimi....14
Şekil 12: Bir önceki şekilde istenen etkileşimi robotun farklı bir nesne üzerinde gerçekleştirmesi....15
Şekil 13: Fiil gösterimlerinin çok-adımlı plan yapmakte kullanılması. Üst satır: İstenen etkileşimin gösterilmesi. Alt satır: İstenen etkileşimin robot tarafından anlaşılıp uygulanması. 15
Şekil 14: Sıfat ve isimlerin öğrenilmesi için kullanılan öğrenme sistemi....16
Şekil 15: Farklı olanı bulma deneyi ve sonuçları....17
Şekil 16: (a) Davranış üretme mekanizması, (b) davranış tanıma mekanizması. Gri ile boyanan kısım her iki mekanizmada paylaşılmakta ve bu da robotun karşıdakinin hareketlerini kendi davranışları cinsinden algılamasını sağlamaktadır....18
Şekil 17: (a) Gözlemlenen hareketin uzaydaki hareketi ve bunların robotun davranış repertuarındaki hareket üretici sistem üzerinden simülasyonu ile yaratılan hareketler. (b,c,d,e) Değişik davranışlar için gözlenen tanıma sinyallerinin zaman içindeki değişimi....18
Şekil 18: iCub insanın erişme davranışını tanıyıp, aynı yere erişiyor....19
Şekil 19: Gözlemlenen davranışların belli parçalarının bloke olması durumunda tanıma sinyalinin zamanla değişimi....19
Şekil 20: Alet kullanımı çalışmasında kullanılan sistem. 'Tuck Arms' pozisyonu bir sonraki şeklin (a) kısmında görülebilir....20
Şekil 21: (a) Robotun algılama sırasında durduğu 'tuck arms' pozisyonu robotun kol ve gövdesinin görüntüye girmesini önler. (b,c,d,e) Alet görüntüsünün arkaplandan ayrılma sürecinin fazları....21
Şekil 22: Aletlerin sap bölümlerin belirlenmesi....21
Şekil 23: Aletin Kinect görüntüsünden çıkarılan nitelikler....22
Şekil 24: iCub'ın gözünden alınan görüntünün RGB ve HSV gösterimlerinin görünümü ve bunların ayrılması....22
Şekil 25: Çıkarılan alet iskeletleri....23
Şekil 26: Aletin gözden gelen görüntüsünden çıkarılan nitelikler....23
Şekil 27: 'Hand feature' aletin hangi elde tutulduğu bilgisini içerir....23
Şekil 28: iCub'ın aletin sapından tutması....24
Şekil 29: Kullanılan aletlerden bazıları....24
Şekil 30: Nesneden çıkarılan nitelikler....24
Şekil 31 : Robotun aletlerle etkileşmek için kullandığı nesne kümesi....25
Şekil 32: Sola itme (yukarıdan yaklaştırarak) davranışı için nitelik sayısına göre DVM öngörü performansının değişimi....28
Şekil 33: İleri itme (sağ parçayı kullanarak) davranışı için nitelik sayısına göre DVM öngörü performansının değişimi....28
Şekil 34: Geri cekilebilme sağlarlığının nesnenin pozisyona göre değişiminin öngörüsü....29
Şekil 35: Kahve bardağı ve masadaki pozisyonu....30

ÖZET

Bu projede, gelişimsel yöntemler kullanarak robotlarda (1) insanlarla iletişim için basit kavramların ve (2) alet kullanma yeteneklerinin gelişimine ilişkin öğrenme metotları geliştirilmiş ve iCub insansı robotu üzerinde başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Yapılan araştırmada psikoloji alanında J.J. Gibson (Gibson, 1986) tarafından ortaya atılmış olan sağlarlık kavramı kullanılmıştır. Birinci hedefe yönelik olarak, dildeki isimler ve fiiler gibi kavramların sağlarlıklarla ilişkisi incelenmiş ve robotun sürekli algı-motorsal deneyimleri ile bu ayrık kavramlar arasındaki bağlantılari öğrenmesini sağlayacak metotlar geliştirilmiştir. Bu bağlantılar sayesinde robot (a) önüne konulan yeni bir nesneyi sağlarlıkları ve görünümü cinsinden isim ve sıfatlar ile tanımlayabiliyor, (b) insanın bir nesne ile yaptığı etkileşimi bir fiil ile tarif ediyor, (c) ona isim+fiil ile yazılan bir komutu, önce doğru nesneyi bulup sonra da doğru davranışı seçerek, yerine getirebiliyor, (d) tek bir adımda erişilemeyecek bir komut verildiğinde, çok adımlı bir plan yapıp, uygulayabiliyor, ve (e) insan masadaki 6 değişik noktadan birine erişirken, davranış henüz bitmeden iCub'ın davranışı tanıdığını ve aynısını yapabildiğini gösterebiliyor.

İkinci hedefe yönelik olarak, robotun nasıl önce çeşitli aletlerin kendisine sunduğu sağlarlıkları öğrenebildiğini ve sonra araçlarla onların işlevleri arasındaki bağlantıları öğrenerek, daha önce görmediği aletlerle nelerin yapılabileceğini öngörüp hedefine erişebildiği gösterilmiştir.

ABSTRACT

In this project, we developed developmental methods towards the development of (1) simple concepts for communication with humans, and (2) tool-use for robots, implemented and demonstrated them on the iCub humanoid robot platform.

The research is based on the affordance notion proposed within Psychology by J.J. Gibson (Gibson, 1986). Towards the first objective, the relationship of affordances with nouns and verbs in language is investigated and learning methods that can link the discrete concepts and the continuous sensory-motor interactions of the robot are developed. These links allowed the robot to (a) describe an object using adjectives and nouns based on its image and its affordances, (b) describe the interaction that a human has performed on an object using a verb, (c) execute a command given in the form of noun+verb by finding the proper object and applying the proper behavior, (d) make and execute multi-step plans to achieve goals that are not attainable via a single behavior, and (e) recognize and generate the action of a reaching actions (towards one of the 6 targets) being demonstrated by a human before the end of the action.

Towards the second objective, we showed that the robot can learn the affordances that are offered by different tools, discover the relationships between the uses and the shapes of the tools and use them to utilize novel tools, that it has not interacted before, towards achieving its goals.

GİRİŞ

1 Eylül 2009 ile 1 Şubat 2013 tarihleri arasında yürütülen 109E033 nolu proje tamamlanmıştır. Bu raporda projenin bilimsel çıktılarının[1] ve idari bilgilerinin özetleri sunulmaktadır.

Sonuç raporu dosyasının 2MB'ın altında olması gerektiğinden, bu bu dosyanın pdf hali sıkıştırılmıştır. Bu sıkıştırmanın sonucu olarak pdf kötü bir çözünürlüğe sahiptir. Raporun iyi çözünürlüklü hali http://tinyurl.com/ adresinden indirilebilir veya TÜBİTAK'tan serkan.ucer@tubitak.gov.tr talep edilebilir.

GENEL BİLGİLER

Bu projede yapılan çalışmalar Avrupa Birliği Çerçeve Proğramından desteklenen iki proje (ROSSI[2] ve iCubCom[3]) ile ortaklaşa olarak desteklenmiştir.

Bilimsel olarak başarılı bir şekilde tamamlanmış olan proje içinde şunlar yapılmıştır:

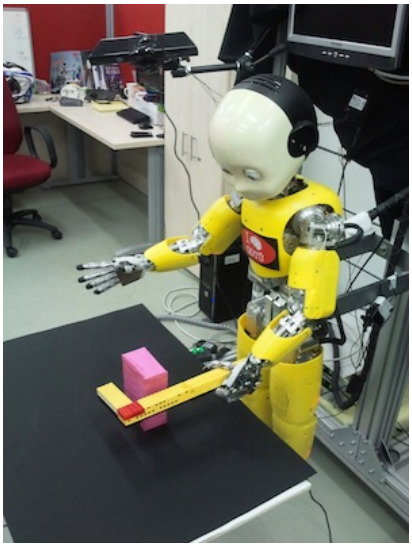
- Değeri 255,000 Euro olan 53 serbestlik dereceli iCub insansı robotunun Türkiye'ye ithali yapılmıştır. Bu proje, RobotCub adlı AB projesi tarafından desteklenen iCubCom adlı projede gereken yerel ek desteği sağlayarak robotun bedava olarak Türkiye'ye getirilmesini sağlamıştır. Bu robot şu anda Türkiye'deki en karmaşık robot platformudur.

---

[1] Bu rapor projede yazılan yayınlardaki sonuçların genel bir özeti olarak yazıldığı için birçok detay dışarıda bırakılmıştır. Okuyucunun bu detaylar için referans verilen yayınları okumasını öneriyoruz. Ayrıca bazı şekillerde İngilizce yazı ve işaretler bulunmaktadır. Bu şekillerin yeniden üretilmesi zor olduğu için böyle bıraktığımızı belirtir ve okuyucunun bunu hoşgörmesini dileriz.

[2] **ROSSI** (**Emergence of communication in Robots through Sensorimotor and Social Interaction) Projesi**, 7.ÇP Proğramının Cognitive Systems teması altında desteklenen çok-ortaklı bir StREP projesidir (Web: http://www.rossiproject.eu). Bu proje Şubat 2003'te ODTÜ'de yapılan son değerlendirilme toplantısında başarılı bulunarak tamamlanmıştır.

[3] **iCubCom (Emergence of Communication in iCub through Sensorimotor and Social Interaction) projes**i, *RobotCub* adlı IP (Integrated Project) projesi (Web: http://www.robotcub.org) içinde desteklenen bir alt-projedir. RobotCub projesi Avrupa'da insansı robot çalışmalarını geliştirmeyi ve entegre etmeyi amaç edinmiş ve bu amaçla donanımından yazılıma kadar tamamen açık kaynaklı iCub insansı robot platformunu geliştirmiştir. Bu platformun gerek Avrupa'daki gerekse dünyadaki ortak araştırma platformlarından birisi olabilmesi için RobotCub projesi içinde desteklenmek üzere alt-proje çağrısı (RobotCub Open Call) açılmıştır. Bu çağrıya bütün dünyadan gelen 31 proje önerisinin değerlendirimesi sonucunda proje yürütücüsünün sunduğu iCubCom proje önerisi 6. olarak, 255,000 Euro değerindeki bir iCub platform bedava olarak alınmıştır (Web: http://eris.liralab.it/wiki/RobotCub_Open_Call).



Şekil 1: iCub robot platformu.

- ODTÜ Bilgisayar Mühendisliği KOVAN Araştırma Laboratuvarı iCub robotuna sahip dünyanın önde gelen araştırma merkezlerinden birisi haline gelmiştir. Aşağıda iCub'a sahip olan üniversitelerin dünya üzerindeki dağılımı görülebilir.

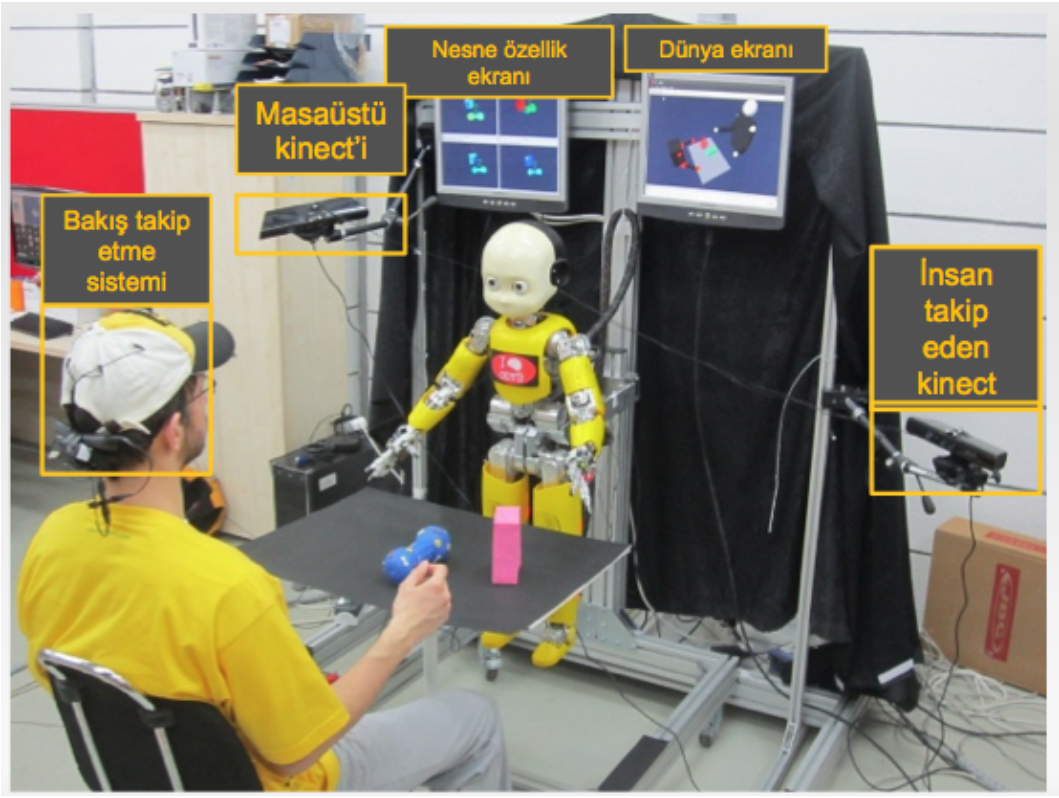
Şekil 2: iCub'a sahip olan üniversitelerin dünyadaki dağılımı.

- Proje süresince çıkan sonuçlardan çok sayıda ulusal ve uluslararası yayın ve tez üretilmiştir.
- Makina, elektrik-elektronik ve bilgisayar mühendisliği tabanlı öğrencilerin beraber çalışmalarını sağlayarak büyük bir interdisipliner sinerji üretmiştir.
- iCub robotu ulusal televizyon ve gazetelerde yaygın olarak haber olmuş ve robotik konusundaki farkındalığın artmasına katkıda bulunmuştur.
- Bu proje çerçevesinde yapılan çalışmalarda Japonya'daki ATR Laboratuvarı'ndan Dr. Erhan Oztop ile verimli bir ortaklık kurulmuş ve bu sayede bu karmaşık platform konusunda eksik olan tecrübe hızlı bir şekilde edinilmiştir. Bu işbirliği aynı zamanda iCub robotunun gelmesinde ve güncellenmesinde yaşanan gecikmeler sırasında araştırmaların oradaki platformlar üzerinde sürdürebilmesine olanak vermiştir.

Proje süresince 6 değişik öğrenci desteklenmiş (Barıs Akgun, Doruk Tunaoglu, Mustafa Parlaktuna, Yigit Calışkan ve S. Erinç İnci) ve bunların dışında ROSSI projesinden, BİDEB burslarından ve Araştırma Görevliliğinden destek alan 7 öğrenci de (Hande Çelikkanat, Emre Uğur, Kadir Fırat Uyanık, Asil Kaan Bozcuoğlu, Nilgün Dağ, İlkay Atıl ve Onur Yürüten) kısmen bu projenin içinde yer alan çalışmalara katkıda bulunmuşlardır.

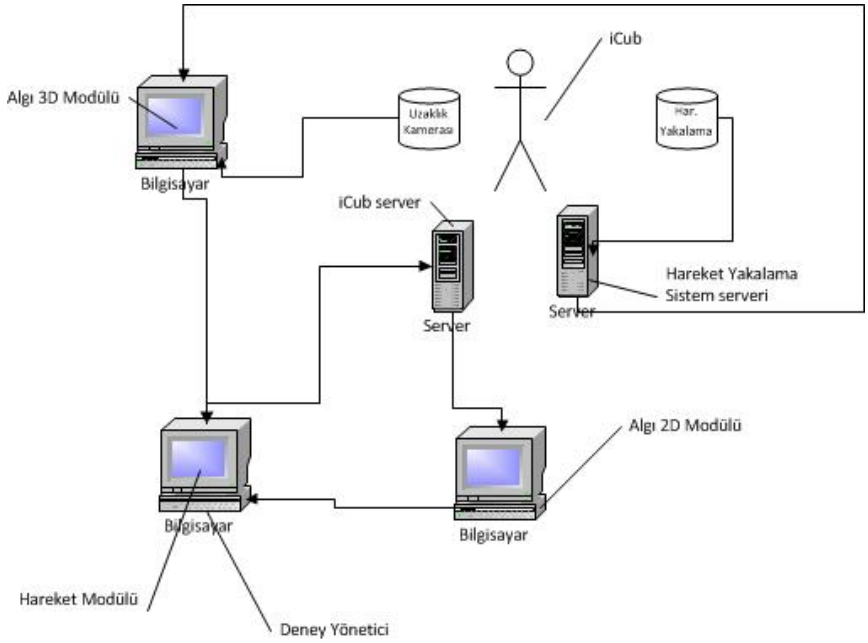
GEREÇ YÖNTEM

iCub robot platformunun çevresine yapılan çalışmaları desteklemek için aşağıda fotoğrafı bir altyapı kurulmuştur. Spesifik olarak projenin kurum hissesinden alınan iki Kinect algı sisteme entegre edilmiştir. Robotun, Kinect'lerin ve masanın referans çerçevelerinin birleştirilmesinde bunlara takılan VisualEyez (bu proje çerçevesinde alınmış olan) işaretleyicileri kullanılmıştır. Ayrıca insanın başındaki şapka ve bileğine yerleştirilen işaretleyiciler insanın bakış yönünü ve erişme hareketlerini algılamayı mümkün kılmıştır.



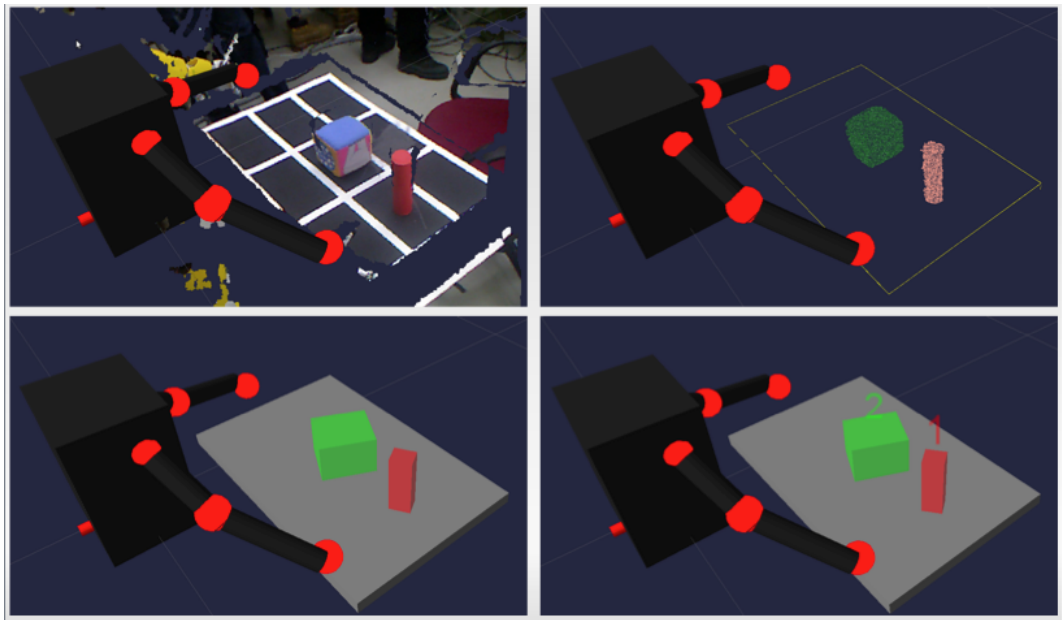
Şekil 3: iCub çevresine kurulan araştırma altyapısı.

Projedeki araştırmalar için iCub kullanım altyapısı yarp ve ROS arakatman yazılımları kullanılarak 4 bilgisayarda çalışan dağıtık bir berimsel (ing. computational) sistem haline getirilmiştir. Aşağıda basit şeması bulunan bu altyapı görüntü işleme ve hareket kontrolü gibi berimsel olarak pahalı işlemlerin hızlı bir şekilde farklı bilgisayarlarda yapılmasına olanak vermiştir.



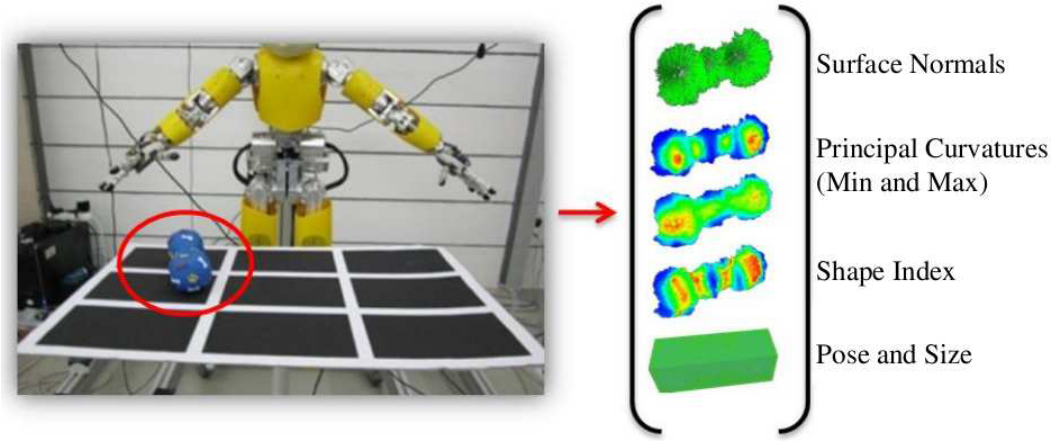
Şekil 4: iCub berimsel altyapı şeması.

Bu altyapı üzerine geliştirilen sistemde robotun önündeki masadaki nesneler robotun kendi vücudundan ve çevreden aşağıdaki gibi ayıracak bir görüntü işleme sistemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5: Robotun gövdesi ve çevresinin ayrılarak masa üstündeki nesnelerin ayrılması.

Arkaplandan ayrılan nesnelerin değişik özellikleri çıkarılarak öğrenme sisteminde kullanılan algılama sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu algılama sistemi ile nesnelerden, yüzey normal histogramları gibi, değişik özellikler çıkarılarak aşağıda rapor edilen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6: Arkaplandan ayrılan nesnelerden çıkarılan özellikler.

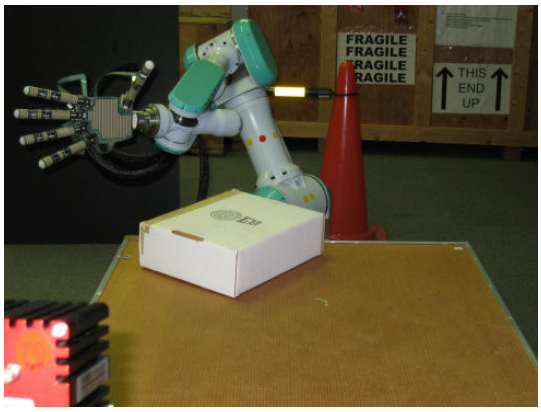
BULGULAR

Projede yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgular dört ayrı konuda değerlendirilebilir:

1. Sağlarlıkların öğrenilmesi
2. İsim, sıfat ve fiillerle ifade edilen kavramların sağlarlıklarla ilişkilendirilmesi
3. İnsan davranışlarının robotun kendi davranışları üzerinden tanınması .
4. Alet sağlarlıklarının öğrenilmesi

Sağlarlıkların öğrenilmesi

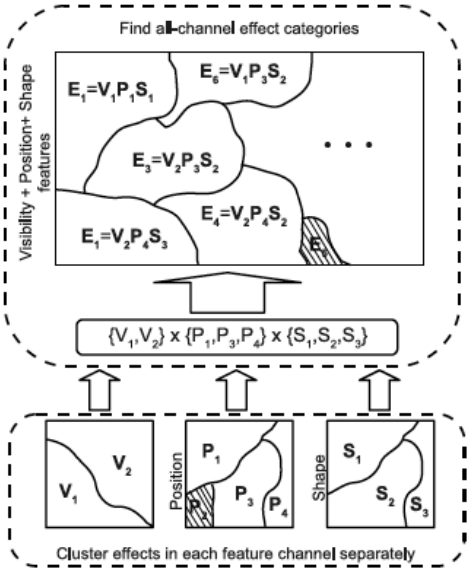
iCub insansı robot platformunun tesliminde yaşanan gecikmeler nedeniyle sağlarlıkların öğrenilmesi konusunda çalışmalar aşağıda görülen Japonya'daki ATR enstitüsünde PA-10 robot kol ve Gifu Hand III eli üzerinde yürütülmüştür.



Şekil 7: PA-10 robot kolu ve Gifu Hand III elinden oluşan robot platformu.

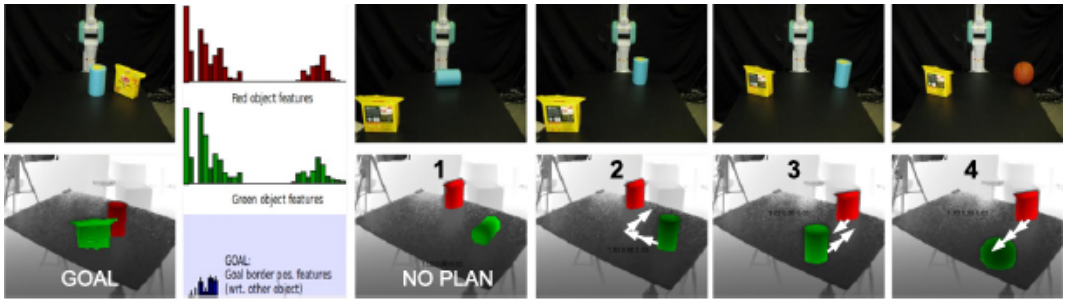
Bu çalışmalarda kendi-kendine öğrenme sistemi yaratılmış ve isim ve fiillerle bağlantı oluşturma yapılmamıştır. Spesifik olarak robotun nesneler üzerinde oluşturduğu etkiler aşağıdaki şekildeki gibi kendi-kendine kategorize edilmiş (ing.

Self-organized clustering) ve bunlar üzerinden öğrenilen sağlarlık ilişkileri robotu kontrol etmekte kullanılmıştır.



Şekil 8: Etki uzayındaki değişik etkiler hiyerarşik bir şekilde kendi-kendine kategorize edilmiştir.

Aşağıda gösterilen şekilde robota gösterilen ilk durum ve son durum arasındaki etkinin özellik uzayındaki gösterimi ve robotun bunu çoklu-adım planlamayla çözmesi görülebilir.

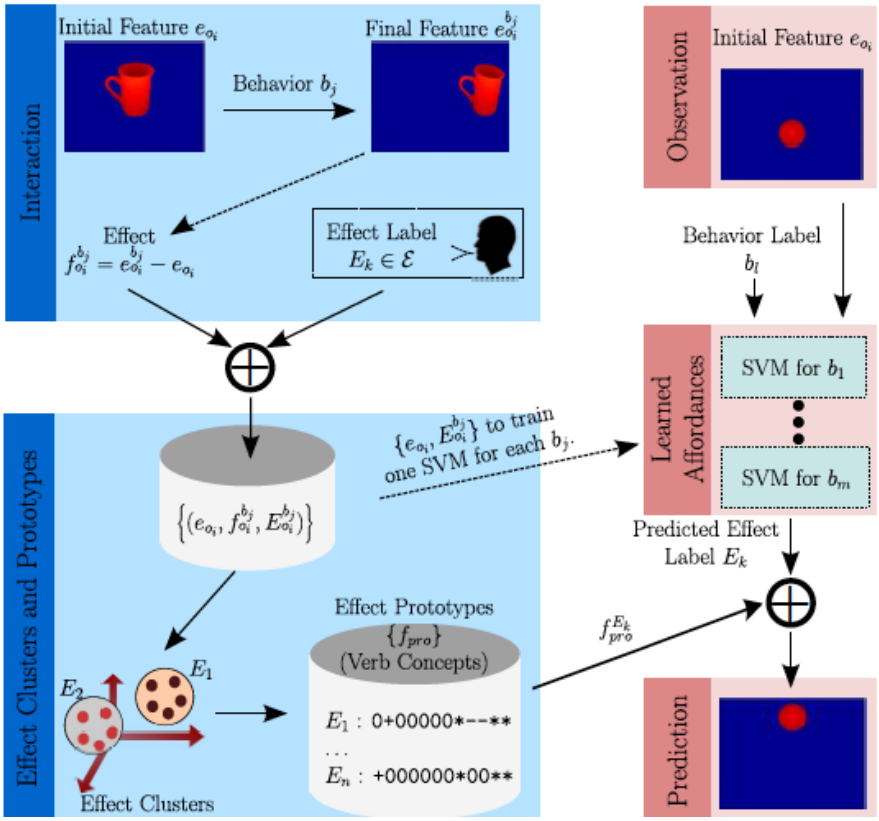


Şekil 9: En soldaki panel robota yapılması istenen etkinin gösterimi vardır. İkinci panelde nesnelerin bu iki durumdaki özellik vektörleri ve bunların farkı gösterilmektedir. Sağdaki 4 panelde ise hedefe ulaşmak için yapılan planlar vardır.

Bu konuda yapılan çalışmalar (UGUR 2011a, UGUR 2011b, UGUR 2011c, BOZCUOGLU 2011, BOZCUOGLU 2012) de yayınlanmıştır.

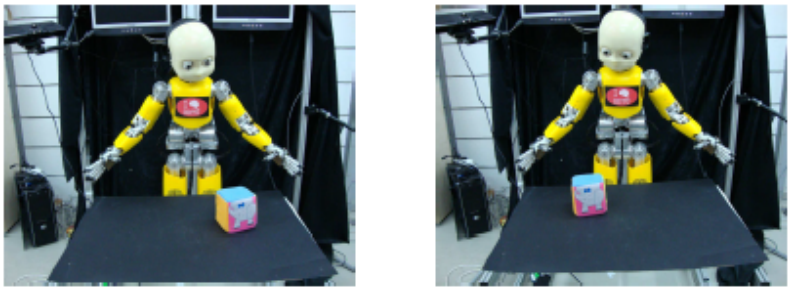
İsim, sıfat ve fiillerle ifade edilen kavramların sağlarlıklarla ilişkilendirilmesi

Robotta dilde fiillerle ifade edilen kavramların geliştirilmesini ve gösterimini sağlayan sistem aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 10: Fiillerle ifade edilen kavramların öğrenilmesine ilişkin sistem.

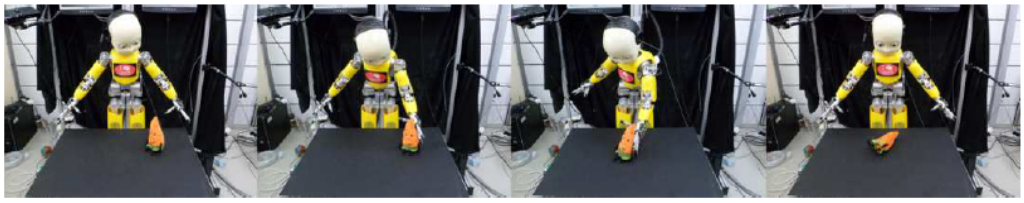
Bu sistemde robotun nesnelerle olan etkileşimi bir insan tarafından uygun olan fiillerle etiketlenmiş, ve öğrenilen fiil gösterimleri daha sonra robotla olan iletişimlerde kullanılmıştır. Aşağıdaki şekilde robottan istenen etkileşim, insan tarafından oyuncak bir kutu üzerinde gösterilmiştir.



(a) Toy box initial state (b) Toy box final state

Şekil 11: Robottan istenen etkileşimin (bir fiile karşılık gelen) gösterimi.

Nesnenin ilk ve son algılarının arasındaki fark robot tarafından hesaplandıktan sonra öğrenilen fiil gösterimleri ile karşılaştırılmış ve daha sonra verilen farklı bir nesne üzerinde aynı etkileşimi yaratacak doğru davranışın seçimi için başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bu etkileşimin film kareleri aşağıdaki şekilde görülebilir.

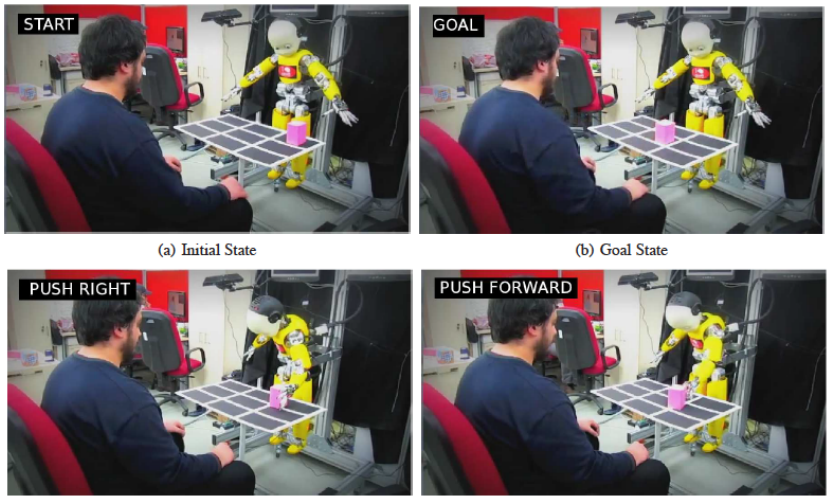


iCub computes the category of the effect in Figures 9(a)-9(b) as "moved right"

iCub chooses and applies *push-right* on the object

Şekil 12: Bir önceki şekilde istenen etkileşimi robotun farklı bir nesne üzerinde gerçekleştirmesi.

Öğrenilen fiil gösterimleri çok-adımlı davranış planlamasına da imkan vermektedir. Aşağıda istenen bir etkileşimin tek bir davranışla karşılanması mümkün olmayınca, sistem iki davranış adımlı bir plan bulup uygulamıştır.

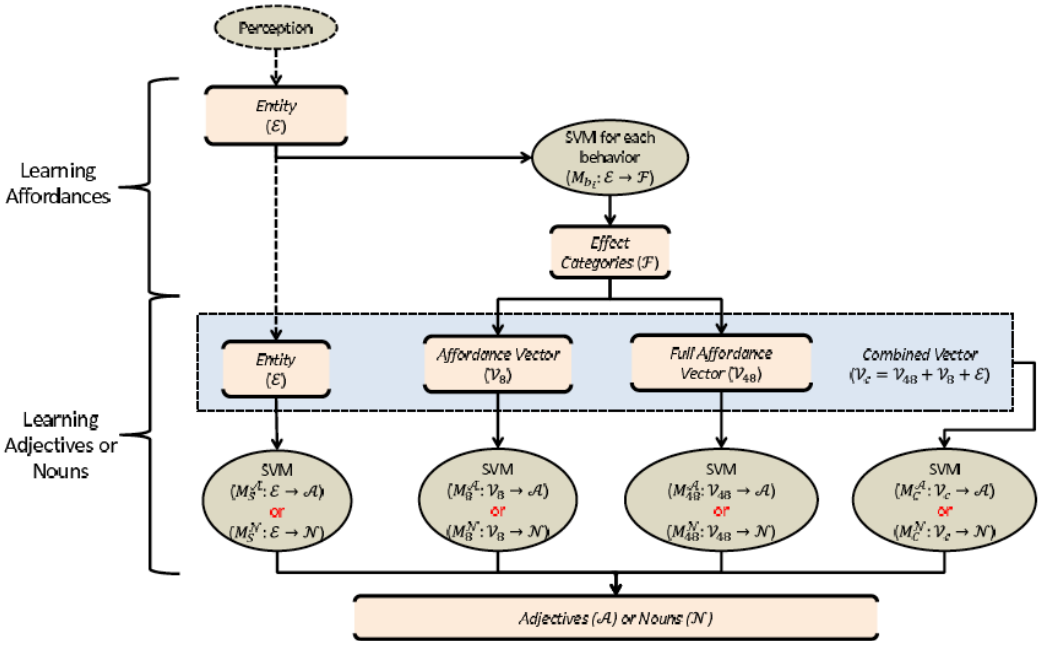


(a) Initial State (b) Goal State

(c) First Step (d) Second and Final Step

Şekil 13: Fiil gösterimlerinin çok-adımlı plan yapmakte kullanılması. Üst satır: İstenen etkileşimin gösterilmesi. Alt satır: İstenen etkileşimin robot tarafından anlaşılıp uygulanması.

İsim ve sıfatlarla ifade edilen kavramların öğrenilmesine ilişkin öğrenme sisteminin genel şeması aşağıdaki gibi geliştirilmiştir. Fiillerde olduğu gibi burada da robot verilen bir nesnenin sağlarlıklarını etkileşerek öğrenmekte ve daha sonra bunları kullanarak nesne ile ilgili sıfatları ve nesnelerin isimlerin bulabilmektedir.



Şekil 14: Sıfat ve isimlerin öğrenilmesi için kullanılan öğrenme sistemi.

Aşağıdaki tabloda robota gösterilen farklı (daha önce hiç görmediği) nesnelere ilişkin çıkardığı isim ve sıfatlar gösterilmiştir. Değerlendirmede kullanılan nesneler, değerlendirme amacıyla yaratılmış olan KIT adlı bir nesne veri tabanından alınan görüntüler kullanılmıştır.

Predicted adjectives and nouns for 6 novel objects from KIT dataset using different models (bold labels denote correct classifications).

Object	Adjectives				Nouns			
	A_{48}-AL $\mathcal{M}_a^1$	A_8-AL $\mathcal{M}_a^2$	SAL $\mathcal{M}_a^3$	$\mathcal{V}_c$-A	N_{48}-AL	N_8-AL	SNL	$\mathcal{V}_c$-N
	round (60 %) **tall (97 %)** **thick (76 %)**	edgy (75 %) **tall (96 %)** **thick (96 %)**	edgy (92 %) **tall (100 %)** **thick (96 %)**	**round (60%)** **tall (80%)** thin (52 %)	**cylinder (61 %)**	**cylinder (45 %)**	**cylinder (98 %)**	**cylinder (56 %)**
	round (55 %) **tall (96 %)** **thick (72 %)**	edgy (76 %) **tall (97 %)** **thick (71 %)**	edgy (90 %) **tall (98 %)** **thick (91 %)**	**round (62%)** **tall (82%)** **thick (54%)**	**cylinder (56 %)**	**cylinder (44 %)**	**cylinder (98 %)**	**cylinder (58 %)**
	edgy (55 %) **tall (97 %)** **thin (72 %)**	**edgy (75 %)** **tall (96 %)** **thin (75 %)**	**edgy (92 %)** **tall (95 %)** **thin (93 %)**	**edgy (92%)** **tall (79%)** **thin (81 %)**	**box (58 %)**	**box (46 %)**	**box (97 %)**	**box (59 %)**
	round (58 %) **tall (98 %)** **thick (87 %)**	edgy (%76) **tall (% 94)** **thick (% 70)**	edgy (82 %) **tall (100%)** **thick (86 %)**	**round (56%)** **tall (83 %)** **thick (70 %)**	**cup (61 %)**	**cup (45 %)**	**cup (96 %)**	**cup (68 %)**
	round (55 %) **tall (95 %)** **thick (71 %)**	edgy (76 %) **tall (% 96)** **thick (% 71)**	edgy (80 %) **tall (98 %)** **thick (94 %)**	**round (55 %)** **tall (80 %)** **thick (52 %)**	**cup (56 %)**	**cup (46 %)**	**cup (98 %)**	**cup (56 %)**
	edgy (59 %) **tall (92 %)** **thick (92 %)**	**edgy (77 %)** **tall (97 %)** **thick (68 %)**	**edgy (83 %)** **tall (96 %)** **thick (90 %)**	**edgy (62 %)** **tall(78%)** **thick (52 %)**	**box (56 %)**	**box (45 %)**	**box (99 %)**	**box (62 %)**

Aşağıdaki tabloda ise robota gösterilen farklı (daha önce hiç görmediği) nesnelerden farklı olanı seçmesi istendiğinde, bunlara ilişkin çıkardığı sıfatları ve farklı bulunan nesne gösterilmiştir.

Scene	Selected Odd Object	Predicted Adjectives			
		Object Properties			
	(Paint Box)	Spray edgy (63 %) short (94 %) thin (96 %)	Glue edgy (84 %) short (98 %) thin (92 %)	**Paint Box** edgy (62 %) short (98 %) **thick (78 %)**	Lamp Box edgy (54 %) short (97 %) thin (59 %)
	(Ball)	Plastic Cup round (72 %) short (98 %) thick (79 %)	Hamburger round (84 %) short (97 %) thick (95 %)	**Ball** round (77 %) short (91 %) **thin (67 %)**	Toy Bone round (84 %) short (98 %) thick (91 %)
	(Ball)	Lamp Box edgy (54 %) short (97 %) thin (59 %)	Glue edgy (84 %) short (98 %) thin (92 %)	**Ball** **round (77 %)** short (91 %) thin (67 %)	Spray edgy (63 %) short (94 %) thin (96 %)
	(Wooden Cylinder)	Ball round (77 %) short (91 %) thin (67 %)	**Wooden Cylinder** round (80 %) **tall (82 %)** thin (62 %)	Small cylinder round (86 %) short (92 %) thin (90 %)	Pencil Box round (84 %) short (96 %) thin (72 %)
	(Wooden Cylinder)	Paint Box edgy (84 %) short (98 %) thin (92 %))	Hamburger round (84 %) short (97 %) thick (95 %)	**Wooden Cylinder** round (80 %) **tall (82 %)** **thin (62 %)**	Ball round (77 %) short (91 %) thin (67 %)

Şekil 15: Farklı olanı bulma deneyi ve sonuçları.

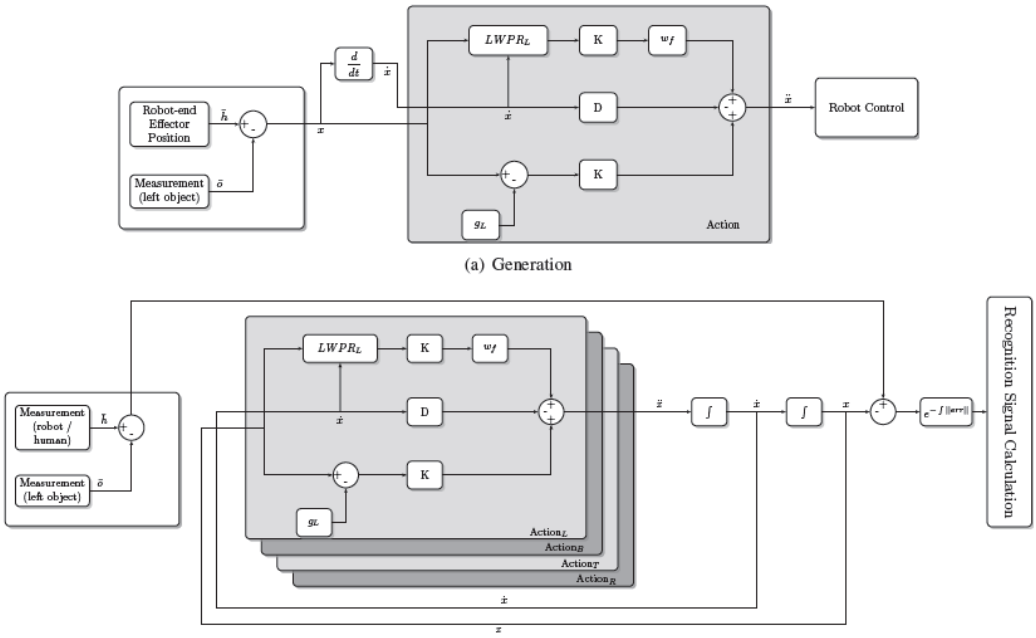
Bu konuda yapılan çalışmalar (AKGUN 2009, DAG 2010, ATIL 2010, DAG 2010, ATIL 2010, YURUTEN 2012a, YURUTEN 2012b, KALKAN under review, YURUTEN under perparation) de yayınlanmıştır.

Bu çalışmalara ilişkin video CD'de 'Kavram Öğrenme' adıyla seyredilebilir.

İnsan davranışlarının robotun kendi davranışları üzerinden tanınması

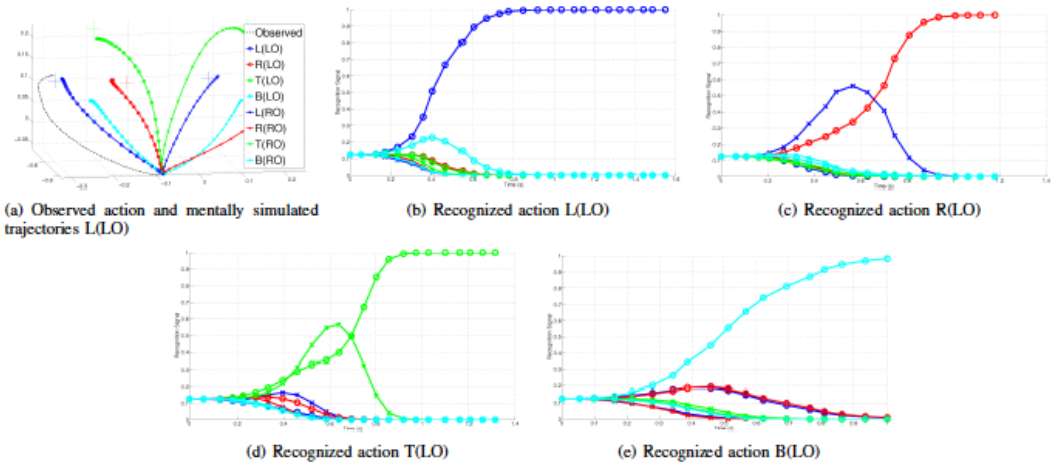
Maymunlarda gözlemlenen ayna nöronlarının (ing. Mirror neurons) canlıların gözlemledikleri davranışları kendi davranışlarını üreten sistemi kullanarak tanıdıkları gösterilmiştir. Bunun karşıdakinin amacı ve niyetini öngörülebilmesini sağlaması dolayısıyla iletişim elzem olduğu için ve dil ve kavramlar için temel teşkil ettiği ortaya atılmıştır.

Bu çalışmalardan esinlenen yaklaşımımızda robot üzerinde Dinamik Hareket Primitifleri'nın (ing. Dynamic Movement Primitives) (DMP) uygulanması olmuştur. Spesifik olarak, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, davranış üretme mekanizmasının temel parçasının aynı zamanda tanıma mekanizmasında da kullanılması sağlanmıştır.



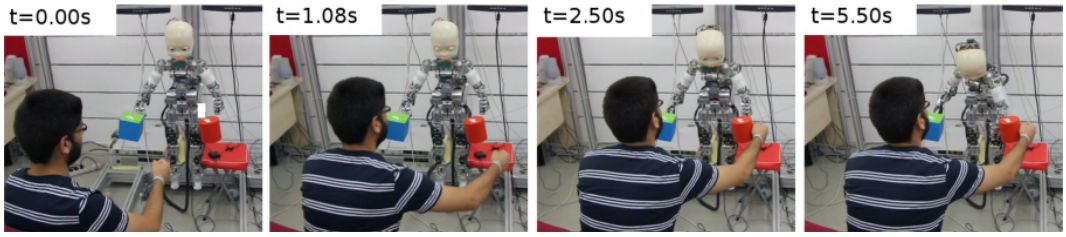
Şekil 16: (a) Davranış üretme mekanizması, (b) davranış tanıma mekanizması. Gri ile boyanan kısım her iki mekanizmada paylaşılmakta ve bu da robotun karşıdakinin hareketlerini kendi davranışları cinsinden algılamasını sağlamaktadır.

Geliştirilmiş olan sistem robota insanın hareketlerini daha bitmeden tanımasını ve tepki vermesini mümkün kılmıştır.



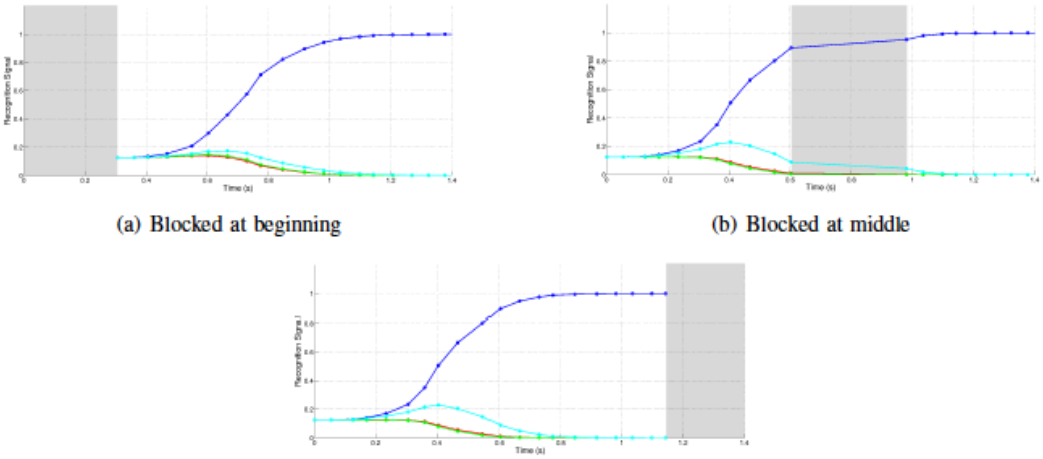
Şekil 17: (a) Gözlemlenen hareketin uzaydaki hareketi ve bunların robotun davranış repertuarındaki hareket üretici sistem üzerinden simülasyonu ile yaratılan hareketler. (b,c,d,e) Değişik davranışlar için gözlenen tanıma sinyallerinin zaman içindeki değişimi.

Aşağıdaki şekilde iCub robotunun insanın erişme davranışını, davranış daha bitmeden tanıması ve aynı yere erişmesinin film kareleri görülebilir.



Şekil 18: iCub insanın erişme davranışını tanıyıp, aynı yere erişiyor.

Geliştirilen sistem, gözlemlenen davranışın başlangıç (a), orta (b) ve son (c) kısımlarının bloke edilmesi durumunda (örneğin bir perde arkasında kalması gibi) bile başarılı bir tanıma performansı gösterebilmektedir.



(a) Blocked at beginning

(b) Blocked at middle

(c) Blocked at end

Şekil 19: Gözlemlenen davranışların belli parçalarının bloke olması durumunda tanıma sinyalinin zamanla değişimi.

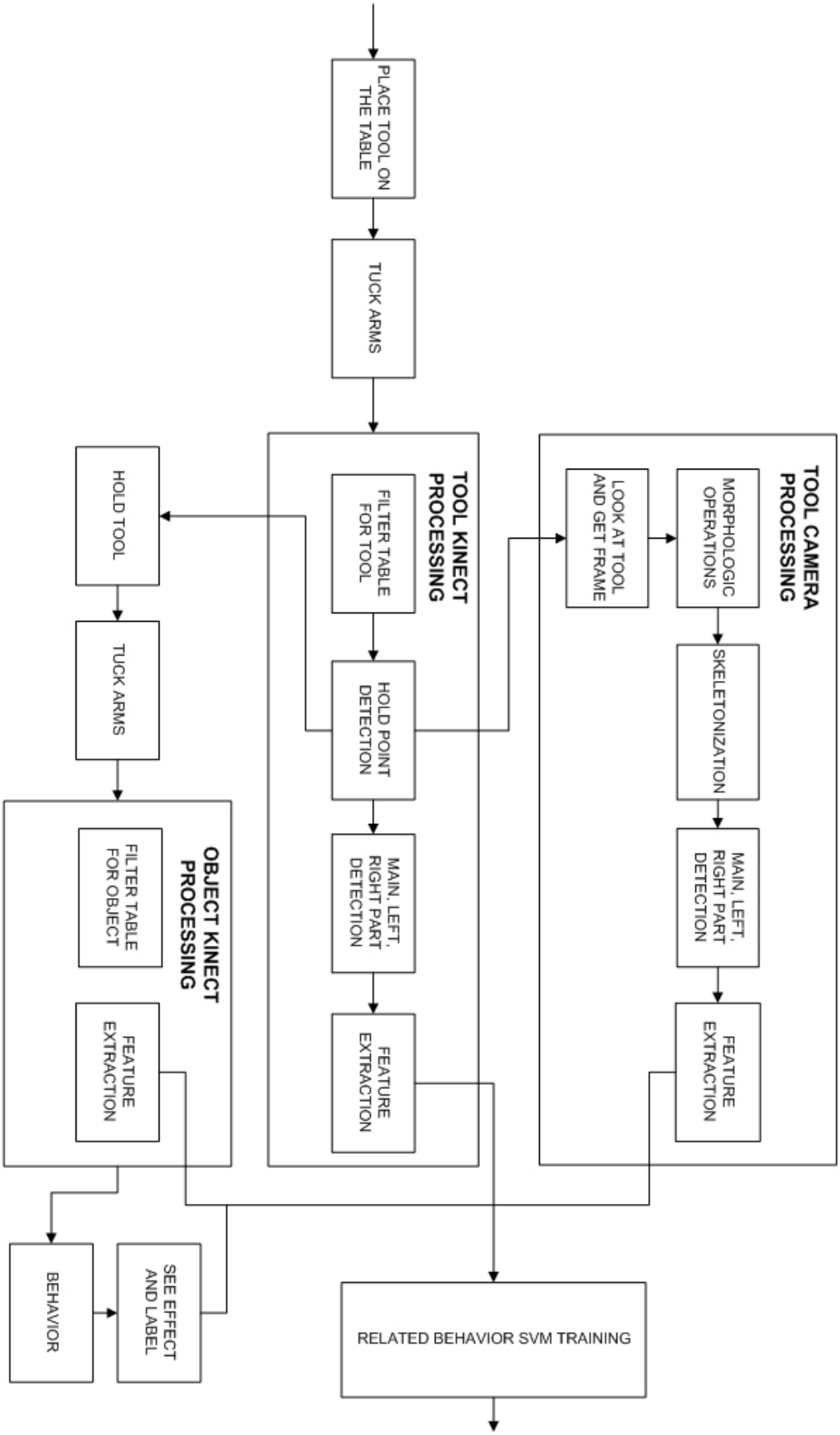
Bu konuda yapılan çalışmalar (AKGUN 2010a, AKGUN2010b, TUNAOGLU 2010, PARLAKTUNA 2012, TUNAOGLU under review) de yayınlanmıştır.

Bu çalışmalara ilişkin video CD'de 'Hareket Tanıma' adıyla seyredilebilir.

Alet sağlarlıklarının öğrenilmesi

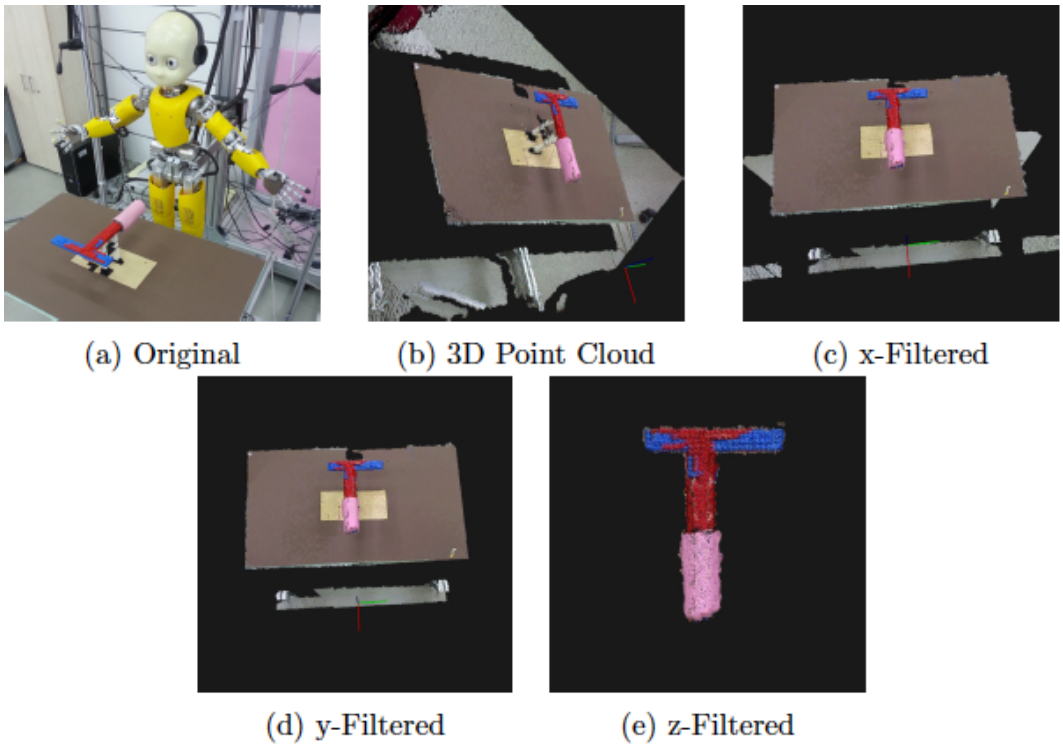
Aletlerin sağlarlıklarının öğrenilmesi konusundaki çalışmalarımız iCub robot platformunun üzerinde devam etmiştir. Bu çalışmada kullanılan algı sisteminde, yukarıda anlatılan çalışmalardan farklı olarak her iki Kinect kamerası da masaüstüne yönlendirilmiştir. İki kameradan gelen görüntüler, kameraların göreceli referans koordinat sistemlerinin birleştirilmesiyle (bunun için kameraların üzerine takılan VZ4000-SM hareket takip sisteminin işaretleyicileri ve bir kalibrasyon sistemi kullanılmıştır) alet ve nesnelerin daha eksiksiz algıları oluşturulabilmiştir.

Bir sonradaki sayfadaki şekilde bu çalışmada kullanılan sistemin genel şeması görülebilir.



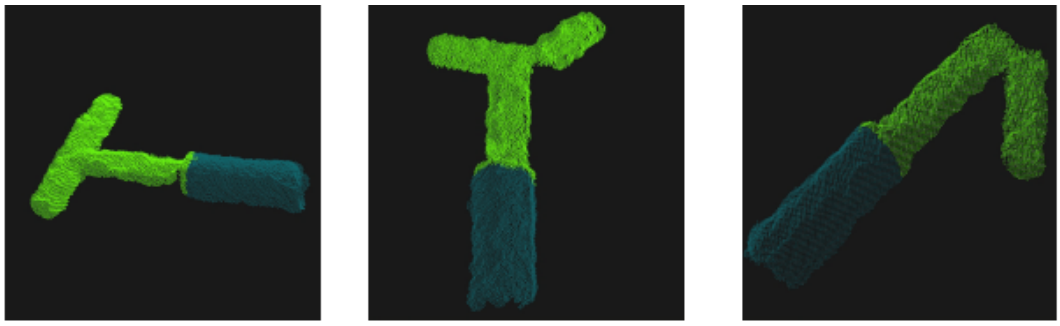
Şekil 20: Alet kullanımı çalışmasında kullanılan sistem. 'Tuck Arms' pozisyonu bir sonraki şeklin (a) kısmında görülebilir.

Aşağıdaki şekilde masa üstüne konulan bir aletin arkaplandan ayrılması işleminin temel süreçleri gösterilmektedir. Robotun aldığı uzaklık görüntüsü x-y-z ekseninde filtrelenerek aletin görüntüsü elde edilmektedir. Bu işlem için alet masanın üzerinde bir miktar yükseltilmiş bir şekilde konmaktadır.



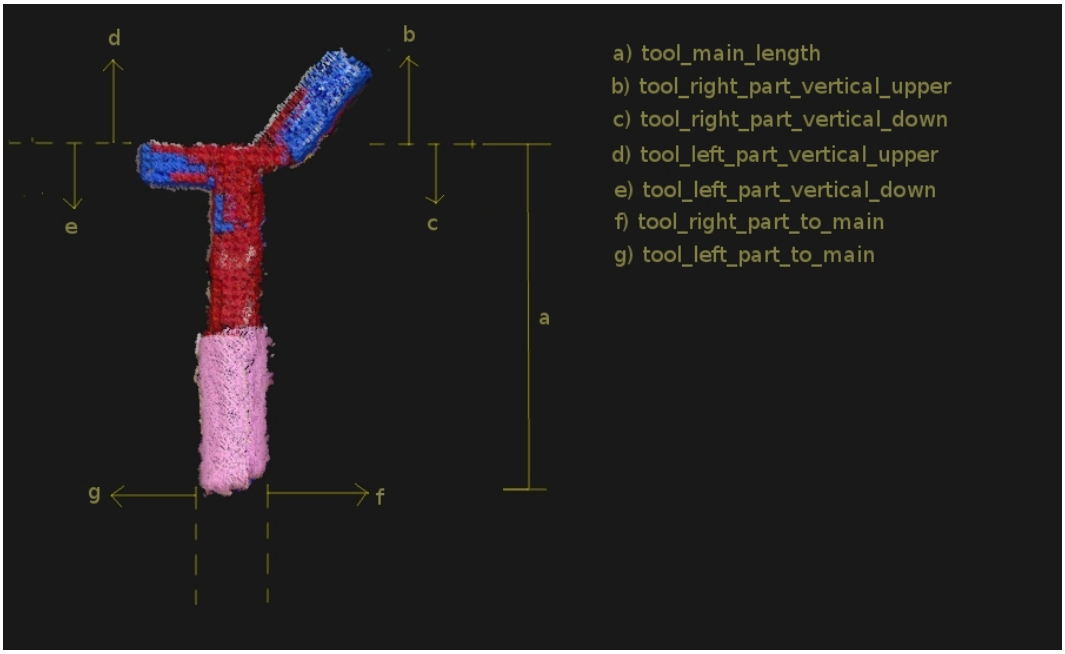
Şekil 21: (a) Robotun algılama sırasında durduğu 'tuck arms' pozisyonu robotun kol ve gövdesinin görüntüye girmesini önler. (b,c,d,e) Alet görüntüsünün arkaplandan ayrılma sürecinin fazları.

Ayrılan aletlerin sap (tutacak) bölümü aşağıda şekildeki örneklerde gösterildiği gibi otomatik olarak belirlenmektedir. Sap bölümün uzaydaki bilgileri daha sonra anlatılacak robot davranışlarına parametre olarak verilecektir.



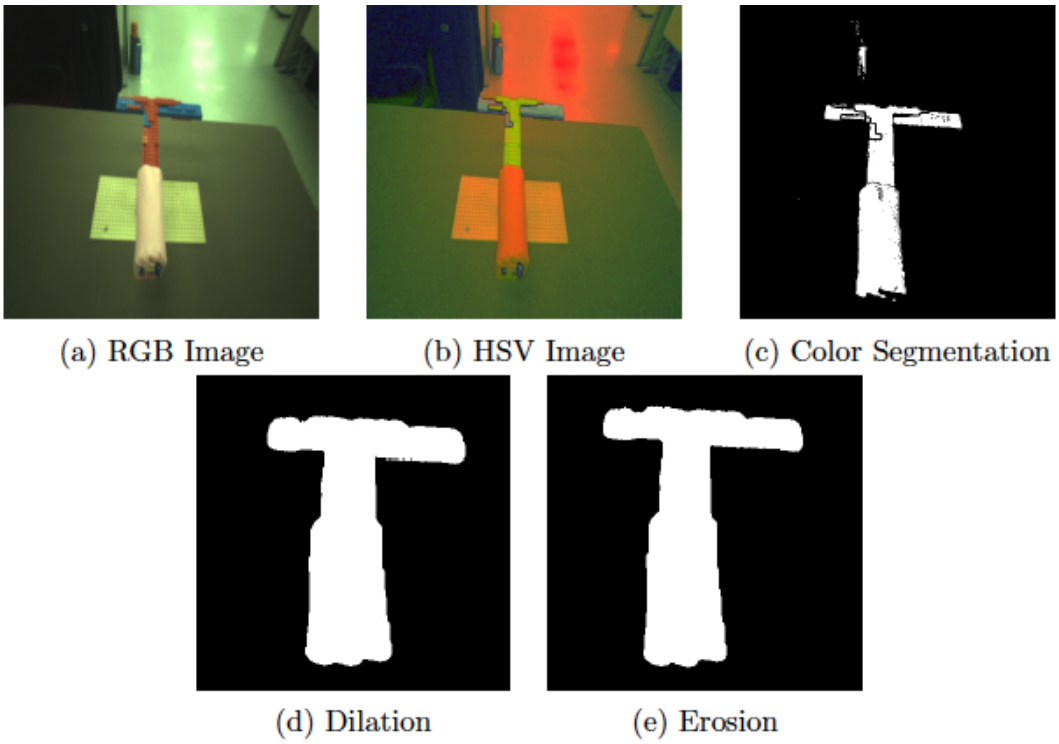
Şekil 22: Aletlerin sap bölümlerin belirlenmesi.

Daha sonra alet ile ilgili aşağıdaki nitelikler çıkarılır:



Şekil 23: Aletin Kinect görüntüsünden çıkarılan nitelikler.

Aletin sap koordinatları belirlendikten sonra iCub gözleriyle alete bakarak, aletin görüntüsünü alır ve bunu aşağıdaki şekilde görülen bir süreçten geçirerek işler.

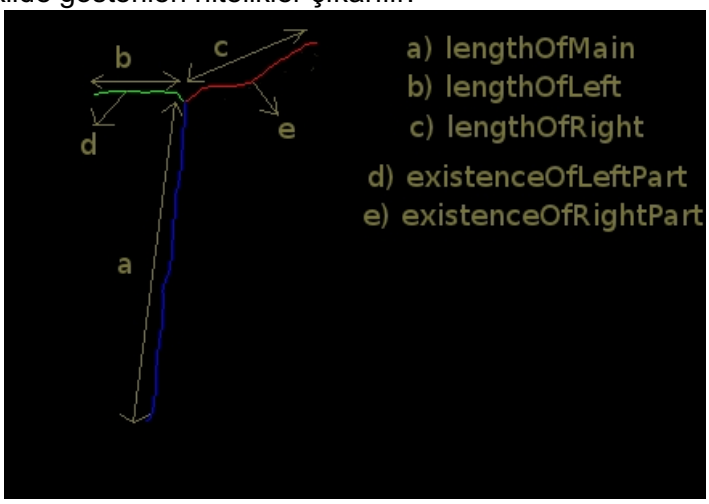


Şekil 24: iCub'ın gözünden alınan görüntünün RGB ve HSV gösterimlerinin görünümü ve bunların ayrılması.

Daha sonra bu görüntülerin aşağıdaki şekildeki gibi iskeletleri çıkarılır:

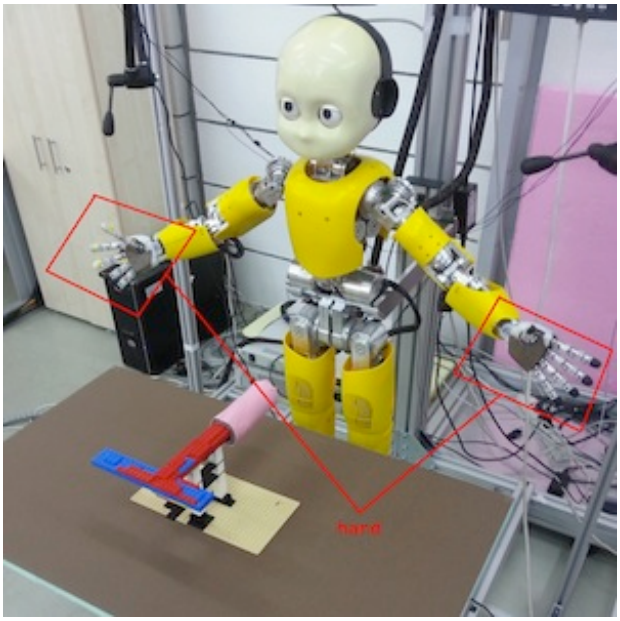
Şekil 25: Çıkarılan alet iskeletleri.

ve aletin gövde, sağ ve sol parçaları aşağıdaki gibi belirlenir ve bunlardan aşağıdaki şekilde gösterilen nitelikler çıkarılır.



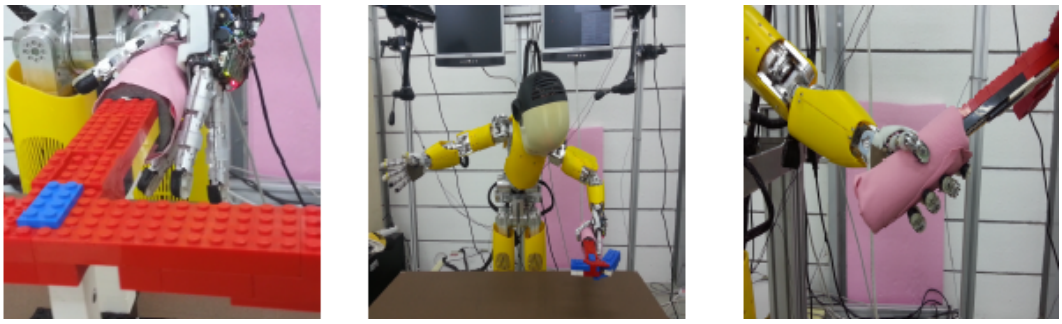
Şekil 26: Aletin gözden gelen görüntüsünden çıkarılan nitelikler.

Robotun hangi elinde aleti tuttuğu bilgisi de bir nitelik olaran (Hand feature) eklenir.



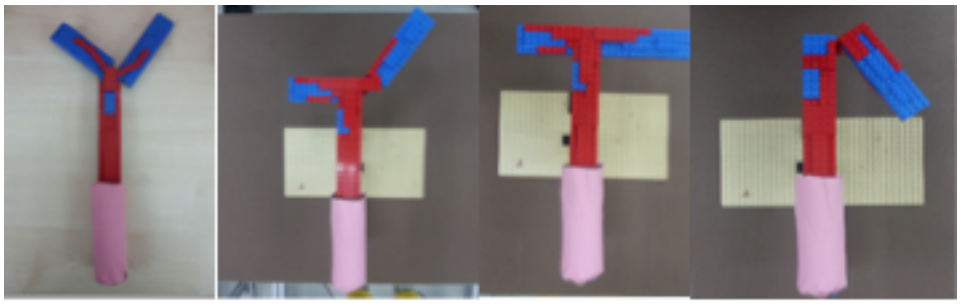
Şekil 27: 'Hand feature' aletin hangi elde tutulduğu bilgisini içerir.

Daha sonra iCub aletin sapından (koordinatları uzaklık görüntüsünün işlenmesiyle çıkarılan) tutarak, masaya bir nesne konmasını bekler. Aşağıdaki resimde tutma davranışının değişik aşamaları gösterilmiştir. Farkedileceği üzere, aletin sapının etrafına robotun parmaklarının daha rahat tutabilmesi için yumuşak bir sünger sarılmıştır.



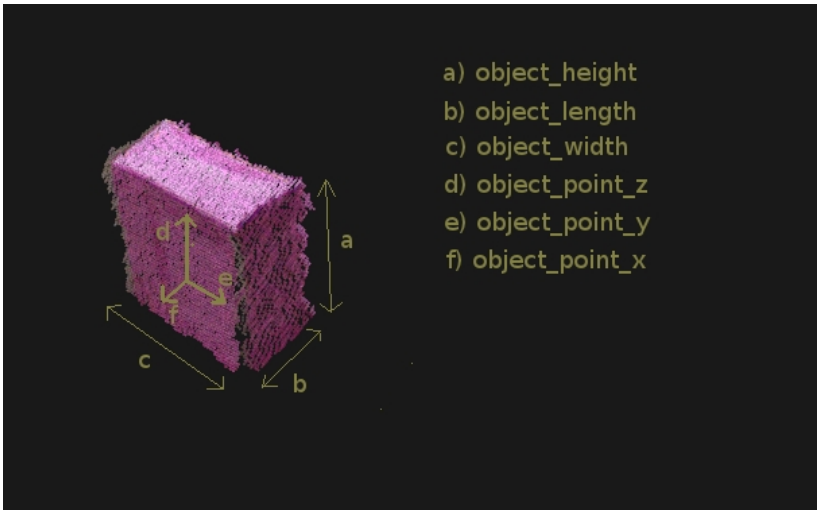
Şekil 28: iCub'ın aletin sapından tutması.

Yapılan çalışmada iCub 23 değişik alet kullanmıştır. Bu aletlerden bazılarının görünüşleri aşağıdaki şekilde görülebilir:



Şekil 29: Kullanılan aletlerden bazıları.

Daha sonra masaya konulan nesne de benzer şekilde ayrılır ve nesnenin aşağıdaki şekilde görülen nitelikleri çıkarılır.



Şekil 30: Nesneden çıkarılan nitelikler.

Robotun etkileşimi sırasında kullanılan nesne kümesi aşağıda görülebilir:

Şekil 31 : Robotun aletlerle etkileşmek için kullandığı nesne kümesi.

Robot aletleri kullanarak masanın üzerinde değişik pozisyonlara konulan nesnelerle aşağıdaki 11 davranışla etkileşmiştir:

1. Sola ittirme (aleti sağdan yaklaştırarak): 134 nesne etkileşimi
2. Sola ittirme (aleti tepeden yaklaştırarak): 162 nesne etkileşimi
3. Sağa ittirme (aleti soldan yaklaştırarak): 142 nesne etkileşimi
4. Sağa ittirme (aleti tepeden yaklaştırarak): 142 nesne etkileşimi
5. İleri ittirme (aletin gövdesiyle): 240 nesne etkileşimi
6. İleri ittirme (aletin sol parçasıyla): 110 nesne etkileşimi
7. İleri ittirme (aletin sağ parçasıyla): 120 nesne etkileşimi
8. Geri çekme (aleti sağdan yaklaştırarak sol parçasıyla): 114 nesne etkileşimi
9. Geri çekme (aleti yukarıdan yaklaştırarak sol parçasıyla): 84 nesne etkileşimi
10. Geri çekme (aleti soldan yaklaştırarak sağ parçasıyla): 106 nesne etkileşimi
11. Geri çekme (aleti yukarıdan yaklaştırarak sağ parçasıyla): 122 nesne etkileşimi

Bunun sonucunda oluşan etkiler ise 5 değişik kategoride toplanmış ve otomatik olarak etiketlenmiştir:

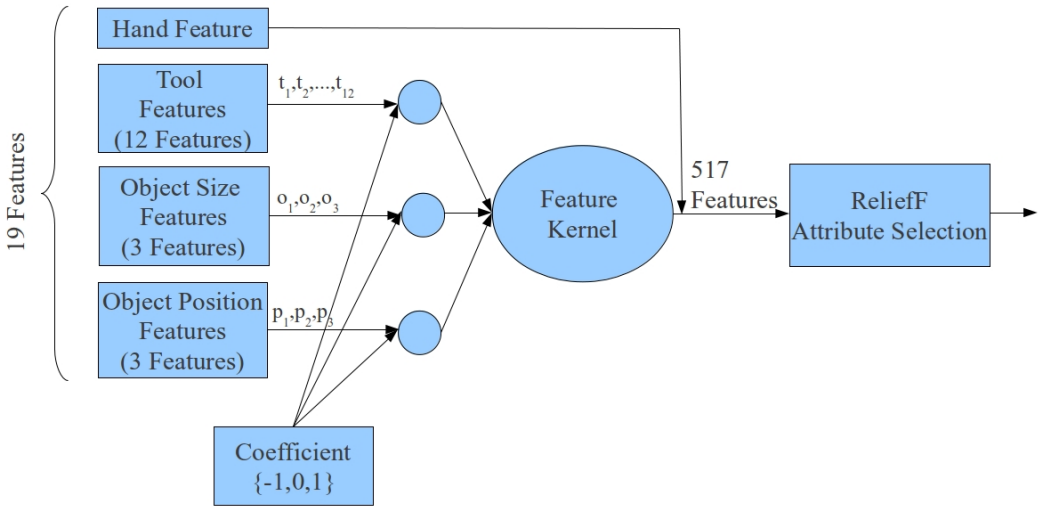
1. Sola ittirilme
2. Sağa ittirilme
3. İleri ittirilme
4. Geri İttirilme
5. Değişiklik yaratamama

Alet sağlarlıklarının öğrenilmesi ve analizi

Aletten, nesneden gelen 18 nitelik ‘’Feature Kernel’ denen bir bloğa verilerek niteliklerin doğrusal kombinasyonları oluşturulur. Bu nitelikler

$$\{0,-1\}*T_i + \{0,-1,+1\}*OS_j + \{0,-1,+1\}*OP_k$$

Burada T_i aletten gelen nitelikleri, OS_j nesnenin büyüklüğüne ilişkin nitelikleri ve OP_k nesnenin pozisyonuna ilişkin nitelikleri simgelemktedir. Bunun sonucunda oluşturulan nitelik kombinasyonuna bir de robotun hangi elini kullanması gerektiğine ait el niteliği (ing. Hand feature) eklenmesiye ortaya çıkan nitelikler her davranış için ayrı ayrı ReliefF algoritmasına verilerek bu niteliklerin sağlarlık öngörüleri için ne önem dereceleri aşağıdaki şemadaki gibi hesaplanır.



Sağlarlıklar ve Nitelikler arasındaki ilişkilerin analizi

Aşağıda iki davranış için elde edilen ReliefF sonuçlarını ve bununla ilgili analizleri bulacaksınız.

Sola İttirme (aleti sağdan yaklaştırarak):

ReliefF sonuçları(Belli bir kısmı):

0.16655	1	hand
0.11936	2	tool_main_length
0.0874	18	existenceOfLeftPart
0.08438	16	lengthOfLeft
0.08346	3	tool_left_part_to_main
0.07395	17	lengthOfRight
0.06905	6	tool_left_part_vertical_down
0.06704	4	tool_right_part_to_main
0.06071	460	+tool_main_length-object_point_z
0.05947	15	lenghtOfMain
0.05865	214	+tool_left_part_to_main+object_height-object_point_z
0.05723	493	+tool_left_part_to_main+object_point_z
0.05487	205	+tool_main_length+object_height-object_point_z
0.05456	490	+tool_main_length+object_point_z

Analiz:

Niteliklerde görüldüğü üzere iCub'ın aleti sağdan getirerek sola itme davranışını yapabilmesi için hangi elini kullandığı önemlidir. Mesela aleti sol eli ile tutup masanın en sağındaki bir nesneyi hareket ettirmek olası değildir. Diğer bir önemli nitelik aletin uzunluğudur. Eğer el aleti nesne ulaşabilecek kadar uzun değilse, iCub aleti nesnenin yanına getiremez ve davranışı gerçekleştiremez. Sol parçanın yatay uzunluğu davranış için zorunlu olmasa da iCub sol tarafındaki uzak nesneyi o parça ile itebilecektir. Eğer bu parça olmasa iCub, nesnenin çok uzakta olması sebebi ile elindeki aleti itme amaçlı nesnenin yanına getiremeyecektir.

İleri ittirme (aletin gövdesi ile):

ReliefF sonuçları(Belli bir kısmı):

0.1484	1	hand
0.1099	488	+tool_main_length+object_point_x
0.0924	293	+tool_main_length+object_height+object_point_x
0.0901	455	+object_length+object_point_x

0.0898 359 +lenghtOfMain+object_length+object_point_x
0.0897 98 +lengthOfLeft-object_length-object_point_x
0.0897 107 +lengthOfRight-object_length-object_point_x
0.0887 377 +lengthOfRight+object_length+object_point_x
0.0887 368 +lengthOfLeft+object_length+object_point_x
0.0874 296 +tool_main_length+object_length+object_point_x
0.0869 509 +lenghtOfMain+object_point_x
0.0868 2 tool_main_length
0.0862 89 +lenghtOfMain-object_length-object_point_x

Analiz:

Tüm davranışlarda olacağını tahmin edebileceğimiz gibi bu davranışta da hangi elin kullanıldığı sonucu etkilemektedir. Bu davranış ileri ittirme davranışı olduğu için aletin ana gövde uzunluğu ve nesnenin yakınlığı veya uzaklığının oluşturduğu kombinasyonların önemi büyüktür. Ayrıca nesnenin uzunluğu da aleti nesnenin ne kadar gerisine götürmek gerektiğini hesaplamaya katkıda bulunduğu için nitelikler arasında önemlidir.

Geri çekme (aleti yukarıdan yaklaştırarak sol parçasıyla):

ReliefF sonuçları(Belli bir kısmı):

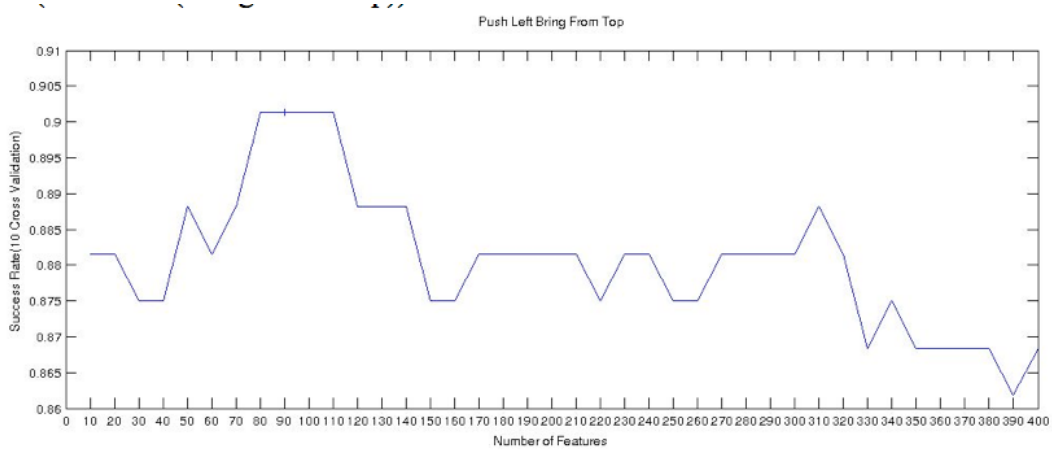
0.1861 2 tool_main_length
0.1823 18 existenceOfLeftPart
0.161 1 hand
0.145 3 tool_left_part_to_main
0.1398 16 lengthOfLeft
0.1206 6 tool_left_part_vertical_down
0.1099 15 lenghtOfMain
0.1008 17 lengthOfRight
0.0987 4 tool_right_part_to_main
0.0958 488 +tool_main_length+object_point_x
0.0938 214 +tool_left_part_to_main+object_height-object_point_z
0.0928 493 +tool_left_part_to_main+object_point_z
0.0888 460 +tool_main_length-object_point_z
0.0852 205 +tool_main_length+object_height-object_point_z
0.0844 490 +tool_main_length+object_point_z
0.0829 8 tool_right_part_vertical_down
0.0827 113 +tool_main_length-object_height+object_point_x
0.0812 463 +tool_left_part_to_main-object_point_z
0.0807 7 tool_right_part_vertical_upper
0.0757 293 +tool_main_length+object_height+object_point_x
0.075 116 +tool_main_length-object_length+object_point_x
0.0725 382 +tool_main_length-object_length
0.0722 110 +tool_main_length-object_width+object_point_x
0.0708 118 +tool_main_length-object_length+object_point_z
0.0705 127 +tool_left_part_to_main-object_length+object_point_z
0.0698 124 +tool_left_part_to_main-object_height+object_point_z
0.068 385 +tool_left_part_to_main-object_length
0.0678 500 +tool_left_part_vertical_down+object_point_x

Analiz:

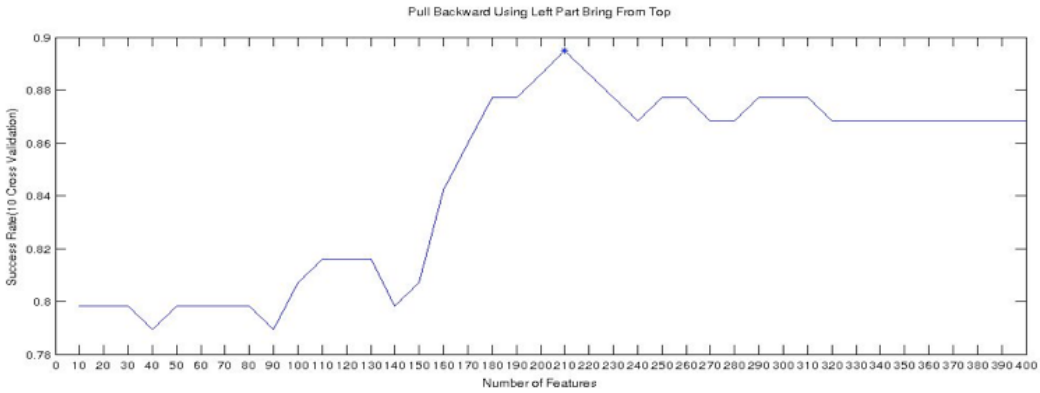
Bu davranışta amaç aleti nesnenin tepesinden getirerek nesneyi geri çekmektir. Bu nedenle sol parça varlığı, uzunluğu, dikey alt kısım uzunluğu, hangi el kullanıldığı nitelik sıralamasında görüldüğü gibi önemlidir. Bu özellikler aletin uzunluğunun yardımı ile aleti nesnenin hangi tarafına ne kadar miktar götürülmesi gerektiğini hesaplamayı sağlar. Aleti tepeden getirip çekme işlemi olduğu için nesnenin yüksekliği ve yüksekliğin bu farklı niteliklerle olan kombinasyonları önemlidir.

Sonuç olarak geliştirilen metot aletlerin hangi parçalarının hangi sağlarlıklar için elzem olduğu bilgisini otomatik olarak ortaya çıkarabilmiştir.

Buna ek olarak ReliefF algoritmasında çıkarılan önem sıralamasına bağlı olarak eğitmeden kullanılan niteliklerin sayısı artırılarak, alet ve nesne niteliklerinden sağlarlıklara olan bağlantılar öğrenilmiştir. DVMler (Destek Vektör Makinaları (ing. Support vector machines)) kullanılarak yapılan öngörü performansı değişik davranışlar için incelenmiş ve genel olarak aşağıdaki şekillerdeki gibi bir trend gözlenmiştir:



Şekil 32: Sola itme (yukarıdan yaklaştırarak) davranışı için nitelik sayısına göre DVM öngörü performansının değişimi.

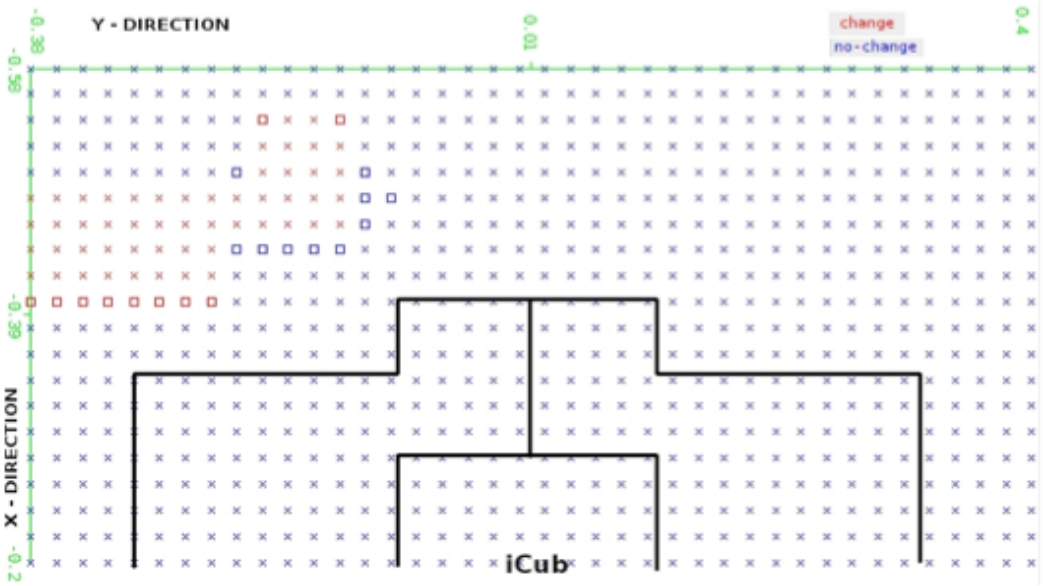


Şekil 33: İleri itme (sağ parçayı kullanarak) davranışı için nitelik sayısına göre DVM öngörü performansının değişimi.

Nitelik sayısının artmasıyla önce artan performans, belli bir optimum değerden bir miktar düşmüştür. Bunun temel nedeni olarak, kullanılan veri miktarın uzayın büyüklüğüne göre az kalması olarak yorumlanmıştır.

Alet sağlarlıklarının nesnenin pozisyonuna göre değişimi

Bir aletin sunduğu sağlarlıklar nesnenin pozisyonuna bağlıdır. Bunu analiz etmek için iCub'ın sol eline sol parçası olan bir alet verilmiş ve bununla orta yükseklikte ince bir silindirin pozisyonu 2cm aralıklarla kaydırılmıştır. Sonra her pozisyonda robotun **Geri çekme** (aleti yukarıdan yaklaştırarak sol parçasıyla) davranışıyla yaptığı öngörüler ve bunları doğrulukları değerlendirilmiş ve aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 34: Geri cekilebilme sağlarlığının nesnenin pozisyona göre değişiminin öngörüsü.

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere nesnenin konduğu yerler x işaretleri ve karelerle belirtilmiştir. Kırmızı renkli x işaretleri iCub'ın davranışı uygulayabileceği ve uygulayabileceğini düşündüğü yerlerdir. Kırmızı kare işaretleri ise iCub'ın davranışı nesne üzerinde uygulayabilmesi beklenen ancak iCub'ın uygulayamayacağını düşündüğü yerlerdir. Mavi x işaretleri iCub'ın davranışı uygulayamayacağı ve iCub'ın davranışı uygulayamayacağını düşünüldüğü yerlerdir. Mavi kareler ise normalde davranışın uygulanamayacağı yerlerdir ancak iCub uygulayabileceğini düşünmektedir.

iCub şekildeki siyah alanda da belirtildiği üzere elini masanın sol tarafında belirli bir kısma kadar uzatabilmektedir. Bu nedenle iCub aletin ana gövdesini kullanarak ileri ittirme davranışında elini aletin o hizasına getiremediği için davranışı gerçekleştiremez. Ancak bu davranışta sol kol uzunluğu ve el aletinin ana gövdesinin uzunluğu yeterli olduğu için iCub sol taraftaki erişilemeyen nesnelere sol parça uzunluğunun yardımıyla erişip geriye çekebilmektedir.

Şekilde görüldüğü üzere iCub'ın davranışı uygulayabileceğini düşündüğü alanda bir basamak varmış gibi gözükmektedir. Bu basamağın nedeni iCub'ın elini oynatabileceği alanın ulaşabileceği noktalara etkisidir. Kendi hizasındaki nesnelere ulaşırken iCub elini kendisine çok yaklaştıramıyorken daha uzağa elini götürebilmektedir. Bu nedenle kendi hizasına yakın olup uzakta olan nesneleri sol parça yardımıyla geriye çekebileceğini öğrenmiştir.

Sonuç olarak alet sağlarlıklarına dair yapılan öngörülerin nesnenin pozisyonu ile değiştiği gösterilmiş ve sınır bölgeleri dışında öngörülerin doğru yapıldığı gösterilmiştir.

Daha önceden görülmemiş nesnelerin sağlarlıkları

Son olarak eğitimde kullanılmamış nesneler hakkında öngörülen sağlarlıklar incelenmiştir..

Şekil 35: Kahve bardağı ve masadaki pozisyonu.

- Sola ittirme (aleti sağdan yaklaştırarak): 0.863
- Sola ittirme (aleti tepeden yaklaştırarak): 0.942
- Sağa ittirme (aleti soldan yaklaştırarak): 0.864
- Sağa ittirme (aleti tepeden yaklaştırarak): 0.996
- İleri ittirme (aletin gövdesiyle): 0.620
- İleri ittirme (aletin sol parçasıyla): ~~0.707~~
- İleri ittirme (aletin sağ parçasıyla): 0.946
- Geri çekme (aleti sağdan yaklaştırarak sol parçasıyla): 0.667
- Geri çekme (aleti yukarıdan yaklaştırarak sol parçasıyla): 0.971
- Geri çekme (aleti soldan yaklaştırarak sağ parçasıyla): 0.886
- Geri çekme (aleti yukarıdan yaklaştırarak sağ parçasıyla): 0.840

Görüldüğü gibi bir tanesi dışında bütün sağlarlıklar doğru olarak öngörülmüştür.

Bu konuda yapılan çalışmalar (CALISKAN 2012) de yayınlanmıştır. Bu sonuçları içeren bir master tezi bitme aşamasındadır ve sonrasında da bir makale haline getirilecektir.

Bu çalışmalara ilişkin video CD'de 'Alet Kullanımı' adıyla seyredilebilir.

TARTIŞMA SONUÇ

Projeyi öneride yazılan bilimsel başarı ölçütleri üzerinden değerlendirmek uygun olacaktır. Aşağıda proje önerisinde yazılan ölçütler ve planları *italik* olarak kopyalanmış ve değerlendirmelerimiz **koyu** olarak yazılmıştır:

1. *iCub'ın nesnelerin sağlarlıklarını öğrenebilmesi. İdeal olarak iCub sadece kendi üzerindeki algılarla (iki göz kamerası, el ve kollardaki eklemlerden ölçülen dokunma, tork ve hız algıları gibi) bu sağlarlıkları öğrenebilmelidir. Somut örnek vermek gerekirse, iCub bir nesnenin erişilebilirlik, tutulabilirlik, kaldırılabilirlik gibi sağlarlıkları algılayıp, verilen bir amaca yönelik olarak doğru davranışı uygulayabilmelidir. Sağlarlıkların öğrenebilmesinde başarı ölçütü birkaç farklı değerlendirmeye tabi tutulacaktır: Öğrenme sonrasında, insanlar tarafından sağlarlıkları bilinen nesneler robota verilerek robotun tahmin ettiği sağlarlıkların doğru olup olmadığı incelenecektir. Ayrıca öğrenilen sağlarlıklarla gerçekleştirilmesi mümkün olan ya da olmayan farklı hedefler belirtilip robotun bu hedeflere yönelik, birden fazla davranıştan oluşan, doğru planları bulup bulamadığı*

incelenecektir. Bu sayede öğrenilen sağlarlıkların yalnızca tek başına değil, bir arada da kullanılabileceği kontrol edilecektir.

- *Olası aksama ve B planı: Sadece iCub'ın üzerinde olan algılarla (iki göz kamerası, el ve kollardaki eklemlerden ölçülen dokunma, tork ve hız algıları gibi) kaydedilen algı-motorsal deneyimlerden sağlarlıkların öğrenilmesi mümkün olmayabilir. Literatürde incelediğimiz çalışmalar, robot kolu ile nesnenin arasında geometrik ilişkilerin algılanmasının sağlarlıkların öğrenilmesi için daha uygun bir veri olduğunu işaret etmektedir. Bu çerçevede robotun etkileşimi sırasında bu ilişkilerin tepe kamerası ve/veya VZ4000-SM hareket yakalama sistemi ile algılanarak öğrenilecektir. Bu şekilde, robotun kendi üzerindeki algılar yeterli olmasa bile sağlarlıklar öğrenilebilecek ve bir sonraki aşama için gereken sonuçlar elde edilecektir.*

Yapılan çalışmalarla değişik robot platformları üzerinde nesnelerin sağlarlıklarının başarıyla öğrenildiği ve bunların hedeflere uğraşmak için doğru planları yapma uygulamada kullanıldığı gösterilmiştir. Göz kameralarından elde edilen görüntülerin yerine Kinect kameralardan gelen uzaklık görüntüleri algıda kullanılmıştır. VZ4000-SM sistemi ise değişik koordinat sistemlerine sahip algı ve hareket sistemlerin entegre edilmesinde kullanılmıştır.

2. *iCub öğrenilen sağlarlıklarla dilde isim ve fiillerle ifade edilen kavramların arasındaki bağlantılarını kuracaktır. Robotun oluşturduğu kavramların, daha doğrusu robotun algıladıklarını değişik (kavramlara temel oluşturmak üzere) kavramlara bölmesinin insanlara mantıklı gelen kavram gruplarıyla uyumlu olup olmadığı incelenecektir. Bunun gerçekleşmesi hâlinde insanlarla iletişim kurmanın temeli oluşturulmuş olacaktır.*

   - *Olası aksama ve B planı: Ideal olarak robotun bu bağlantıları eğitmensiz (ing: unsupervised) öğrenebilmesidir. Eğitmensiz yöntemin başarısız olması durumunda oluşan etki ve bağlam denklik sınıflarının elle (ing. manually) etiketlenmesi yapılacaktır. Algıların kavram sınıflarına doğru şekilde bölünmesi sayesinde bu kavramların iletişimde kullanılacağı bir sonraki aşama sağlıklı bir şekilde yürütülebilecektir.*

Dilde isim ve fiillerle ifade edilen kavramlar robotun algı-motorsal deneyimlerine başarılı bir şekilde bağlanmıştır. Yapılan ön çalışmalarda bu bağlantıların eğitmensiz öğrenebilmesinin mümkün olduğu ortaya çıkmış ve insanlar tarafından yapılan etiketlemeler kullanılarak bu bağlantılar öğrenilmiştir. Proje önerisinin dışında tutulmasına rağmen sıfatlar da öğrenilen kavramlar arasında yer almıştır.

3. *Robot oluşturduğu kavramları insanlarda iletişimde kullanabilmelidir. Bu amaçla, insanların nesnelerle olan etkileşimleri hem iCub'ın üzerinde olan algılarla, hem de VZ4000-SM hareket yakalama sistemi ile kaydedilecek ve daha sonra gözlemci bakış açısı kullanılarak oluşan sağlarlıklar ve kavramların gelişimi sağlanacaktır.*
   - *Olası aksama ve B Planı: Gözlemci bakış açısıyla sağlarlık öğrenimi, bunlardan kavramlar oluşturma ve bunların aktör bakış açısından çıkan karşılıklarıyla eşleştirilmesi bir çok risk içermektedir. Gözlemlenen davranışların robotun kendi davranışlarına benzerliğinin artırılması için gözlem verilerinde koordinat düzeltmesi yapılacaktır.*

Bu yöntem tercih edilmemekle beraber, birçok taklit yönteminde kullanılmaktadır.

Robotun öğrendiği kavramları insanlarla iletişimde başarıyla kullandığı gösterilmiştir. Özel olarak, robota isim+fiil olarak verilen komutlar robot tarafından algılanmış ve doğru davranış doğru nesne üzerinde uygulanmıştır.

Bunlara ek olarak robotun gözlemlediği bir davranışı, kendi davranışları türünden tanımasını sağlayacak bir sistem geliştirilmiş ve robotun üzerinde başarıyla gerçekleştirilmiştir.

4. *Robot belli bir alet kümesi ile etkileştikten sonra, aletlerin hangi özelliklerinin hangi sağlarlıklar için elzem olduğunu öngörebilmelidir. Yöntem kısmında anlatılan keser örneği bunun için güzel bir deneme vakası olarak kullanılabilir.*
   - *Olası aksama ve B Planı: Yukarıda belirtilen diğer hedeflerde olduğu gibi, aletlerin ve aletlerle yapılan etkileşimlerin nasıl algılandığı bu problemin zorluğunu tayin edecektir. Sadece robotun üzerindeki algılarla başarılamadığı takdirde, VZ4000-SM hareket yakalama sistemi ve tepe kameradan çıkarılan algıların kullanılması yoluna gidilecektir.*

Robotun aletlerin sağlarlıklarını başarıyla öğrendiği gösterilmiştir. Gerçek aletlerin robotun manipülasyon yeteneklerini aştığı farkedilince LEGO'dan tutulması ve parametrize edilmesi daha kolay yapay aletler çalışmalarda kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda robotun, verilen bir hedefe ulaşmak için doğru aleti (daha önceden görmemiş olsa bile) başarıyla seçip doğru davranışı uygulayabildiği gösterilmiştir.

Sonuç olarak proje önerisinde ortaya konulan bilimsel hedeflerinin hepsine başarıyla varılmıştır.

Proje içinde yapılan çalışmalar çerçevesinde 1 doktora, 6 master tezi tamamlanmıştır. 1 master tezinin yazımı (Yiğit Çalışkan) bitmek üzeredir. Şu ana kadar 3 makale yazılmış olmakla beraber sadece biri basılmış ve 2'sinin değerlendirme süreci sürmektedir. Dördüncü bir makale de bitmek üzeredir ve önümüzdeki hafta gönderilmiş olacaktır. Bunun dışında çalışılan konudaki en iyi konferanslarda (ICRA, IROS, HUMANOID, EpiROB, SAB) bir çok bildiri sunulmuş ve daha çok yurtiçindeki araştırmacıları toplayan ISCIS ve SİU gibi konferanslarda da bildiriler sunulmuştur.

Projenin yayın çıktılarının proje sonlandıktan sonra da devam etmesi beklenmektedir. iCub robot platformunun geç gelmesi ve manipülasyon konusundaki tecrübe eksikliği ile beraber bu projelerde çalışan öğrencilerin bir kısmının yurtdışına gitmesi, bir kısmının ise kişisel nedenlerle yüksek lisanslarının bırakmaları, sonuçların tamamlanıp yayın haline getirilmesini geciktirmiştir. Alet kullanımı konusundaki çalışmalar tamamlanmış olmakla beraber bu çalışmaları içeren ise bir master tezi ve bir makalenin yazımları sürmektedir.

Bunlara ek olarak proje aşağıdaki konularda da önemli katkı yapmıştır:

- Yürütülen proje Türkiye'ye robotik konusunda çok değerli bir araştırma altyapısı geliştirilmesini sağlamıştır. Oluşturulan bu araştırma altyapısı bu

konuda gelecekte yapılacak olan çalışmalar için büyük bir avantaj yaratmıştır.

- Proje yürütücüsü benzeri konularda 7 AB projesi teklifinin içinde yer almıştır. Bu önerilerden 5'i desteklenmemiş, 2'si ise halen değerlendirilme sürecindedir.
- Proje yürütücüsü Adaptive Behavior adlı derginin Yardımcı Editörlüğünü yürütmeye devam etmiştir.
- Proje yürütücüsü bu konuda faaliyet gösteren IEEE AMD (Autonomous Mental Development) Task Committee üyeliğine kabul edilmiştir.
- Proje yürütücüsü bu dönemde gelişimsel robotik konusundaki iki ana konferanstan biri olan 10. Epigenetic Robotics Conference'nı düzenleyen 3 kişiden biri olmuştur. Ayrıca IROS ve ICRA gibi robotik konusundaki büyük konferanslarda değerlendiriciliğinin yanında Humanoids ve ICDL (Intl. Conf. On Development and Learning) gibi konferanslarının Program Komite üyeliğini yapmıştır.
- Proje yürütücüsü proje süresince 6'sı yurtdışında olmak üzere toplam 8 davetli konuşma yapmıştır:
    - "Affordances and Concepts" Invited talk at METU Institute of Applied Mathematics. Dec. 4, 2012.
    - ''Grounding and Representing Verbs, Nouns and Adjectives using Affordances'', Invited talk at University of Plymouth, Plymouth, UK, Nov. 16, 2012.
    - "Affordances and Concepts" Invited talk at METU Informatics Institute. Nov. 9, 2012.
    - "Affordances and Concepts" Keynote at the 3rd Workshop on Human Behavior Understanding at IROS 2012. Villamoura, Portugal. October 7, 2012.
    - "Towards robots that can shake and talk" at Symposium on Reading Intentions: From children to robots. Pufendorf Institute for advanced studies, Lund, Sweden. March 5-6, 2012.
    - "Affordances in the land of autonomous robotics" at International Workshop on Vision, Action and Language, Embodiment, Cefalu, Italy, April 19, 2011.
    - "Affordances: The adventures of an elephant in the land of autonomous robots" at HUMANOIDS Workshop on Object-Action Complexes: Representations for Grounding Perception by Action and Grounding of Language by Interaction, Paris, France, December 7, 2009
- Bu projelerde çalışan öğrencilerden Emre Uğur çalışmalarına ATR (Japonya'da) doktora sonrası araştırmacı olarak devam etmektedir. Barış Akgün doktorasına Georgia Tech'de (ABD), Onur Yürüten doktorasına EPFL'de (İsviçre), Asil Kaan Bozcuoğlu ise doktorasına Bremen Üniversitesi'nde (Almanya) devam etmektedirler. Doruk Tunaoglu Sabanci Üniversitesinde Eknonomi doktora proğramına başlamıştır.

REFERANSLAR

1. YURUTEN O., Sahin E., Kalkan S. Some Adjective and Noun Concepts from Affordances. Adaptive Behavior (special issue for SAB'2012) (under preparation).

2. TUNAOGLU D., Parlaktuna M., Sahin E. Action Recognition (and Generation) using Closed Loop Primitives. Cognitive Processing journal. (under review).
3. UYANIK K.F., Calıskan Y., Bozcuoglu A.K. Yuruten O., Kalkan S., Sahın E., Learning Social Affordances and Using them for Planning. Cognitive Systems Conference (under review).
4. KALKAN S., Dag N., Yuruten O., Borghi A.M., Sahin E. Verb Concepts from Affordances. Interaction Studies journal. (under review).
5. BOZCUOGLU A.K. A Developmental Grasp Learning Scheme for Humanoid Robots. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2012 (asıl danışman).
6. YURUTEN O. Formation of Adjective, Noun and Verb Concepts through Affordances. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2012 (eş-danışman).
7. UYANIK K.F., Yuruten O., Kalkan S., Sahın E., Towards Context-Aware Adjective Learning, ICRA Workshop on the Future or HRI (2012).
8. YURUTEN O, Uyanik K.F., Caliskan Y., Bozcuoglu A.K., Sahin E., Kalkan S., Learning Adjectives and Nouns from Affordances on the iCub Humanoid Robot. Proc. of From Animals to Animats 12. Lecture Notes in Computer Science, (2012), Volume 7426/2012, 330-340, Springer.
9. CALISKAN Y., Duygulu P., Sahin E., Affordance Prediction of Hand Tools Using Interactive Perception, Proc. of 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), (2012), pages 1-4.
10. PARLAKTUNA M., Tunaoglu D., Ugur E., Sahin E. Closed-loop primitives: A method to generate and recognize reaching actions from demonstration, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), (2012), 2015-2020
11. UGUR E., Oztop E., Sahin E(2011), Goal emulation and planning in perceptual space using learned affordances, *Robotics and Autonomous Systems journal*, 59, 7-8, 580-595, (2011).
12. UGUR E., Celikkanat H., Sahin E., Nagai Y., Oztop E., Learning to Grasp with Parental Scaffolding, Proc. of 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, (2011) 480-486, IEEE Xplore.
13. BOZCUOGLU A.K., Sahin E., Traversability on a simple humanoid: What did I just trip over?, Proc. of 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, (2011) 701-706, IEEE Xplore.
14. UGUR E., Oztop E., Sahin E., Going beyond the perception of affordances: Learning how to actualize them through behavioral parameters. Proc. of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), (2011), pp. 4768 - 4773. UGUR E., "A Developmental Framework for Learning Affordances", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, (asıl danışman) 2010.
15. ATIL İ. "Emergence of verb and object concepts through learning affordances", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2010 (eş-danışman).
16. DAG, N. "Emergence of verb and object concepts through learning affordances", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2010 (eş-danışman).
17. TUNAOGLU, D., "Implementation of a closed-loop action generation system on a humanoid robot through learning by demonstration", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2010. (tek danışman)
18. AKGUN B., "Action recognition through action generation", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2010. (tek danışman)
19. AKGUN B., Tunaoglu D., Sahin E., Action Recognition trough an action generation mechanism, Proc. of the Tenth International Conference on

Epigenetic Robotics: Modeling Cognitive Development in Robotic Systems. Lund University Cognitive Studies, 149. Lund:LUCS., (2010) pp. 3-10 .

20. ATIL I., Dag N., Kalkan S., Sahin E., Affordances and Emergence of Concepts, Proc. of the Tenth International Conference on Epigenetic Robotics: Modeling Cognitive Development in Robotic Systems. Lund University Cognitive Studies, 149. Lund:LUCS., (2010) pp. 11-18.
21. DAG N., Atıl I., Kalkan S., Şahin E., Learning Affordances for Categorizing Objects and Their Properties," In Proc. of the 20th International Conference on Pattern Recognition, (2010), pp. 3089-3092.
22. AKGUN B., Dag N., Bilal T., Atil I, Sahin E.. Unsupervised Learning of Affordance Relations on a Humanoid Robot, In Proc. of the 24th Intl. Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS'09), IEEE Xplore, pp. 254-259, (2009).

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 109E033
Proje Başlığı: İnsansı Robotlarda Sağlarlık Tabanlı Kavram Gelişimi ve Alet Kullanımı
Proje Yürütücüsü Araştırmacılar: Doç.Dr. Erol Şahin
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş Adresi: Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 06800, Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı Adresi: Yok.
Projenin Başlangıç Bitiş Tarihleri: 1/9/2009-1/2/2013
Öz (en çok 70 kelime) Bu projenin temel amacı insansı robotların, gündelik hayatımızda bizimle çalışabilmeleri için gerekli yetileri gelişimsel olarak kazanabilmeleridir. Spesifik olarak iki yeteneğin oluşturulması hedeflenmiştir: 1) robotların çevreleriyle etkileşerek insanlarla olan iletişimlerinde kullanabilecekleri kavramları geliştirebilmeleri, ve 2) robotların etkileşerek alet kullanımını öğrenebilmeleri. Her iki hedefe yönelik olarak geliştirilen metotlar, psikolojide ortaya atılmış sağlarlık kavramını temel almıştır. İlk hedefe yönelik olarak, dilde isim, sıfat ve fiillerle karşılanan kavramları insansı robotun çevresiyle olan etkileşiminden öğrendiği sağlarlıklardan çıkarmasını sağlayacak öğrenme metotları geliştirilmiştir. Bu sayede robot insan tarafından verilen isim+fiil komutlarını anlayıp uygun nesne üzerinde uygun bir davranış planı yaparak komutu yerine getirebilme yeteneği kazanmıştır. İkinci hedefe yönelik ise robotun, eliyle tutabildiği aletlerin sağlarlıklarını keşfetmesini sağlayacak bir sistem geliştirilmiş ve robotun daha sonrasında amacına ulaşmak için doğru aleti seçerek uygun bir şekilde kullanabildiği gösterilmiştir. Geliştirilen metotlar, iCub adlı insansı robot platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: insansı robotlar, öğrenme, sağlarlık, kavramlar, alet kullanımı

Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? **Evet** ☐ **Gerekli Değil** ☒

Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.

Projeden Yapılan Yayınlar:

1. UYANIK K.F., Yuruten O., Kalkan S., Sahın E., Towards Context-Aware Adjective Learning, ICRA Workshop on the Future or HRI (2012).
2. YURUTEN O, Uyanik K.F., Caliskan Y., Bozcuoglu A.K., Sahin E., Kalkan S., Learning Adjectives and Nouns from Affordances on the iCub Humanoid Robot. Proc. of From Animals to Animats 12. Lecture Notes in Computer Science, (2012), Volume 7426/2012, 330-340, Springer.
3. CALISKAN Y., Duygulu P., Sahin E., Affordance Prediction of Hand Tools Using Interactive Perception, Proc. of 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), (2012), pages 1-4.
4. PARLAKTUNA M., Tunaoglu D., Ugur E., Sahin E. Closed-loop primitives: A method to generate and recognize reaching actions from demonstration, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), (2012), 2015-2020
5. UGUR E., Oztop E., Sahin E(2011), Goal emulation and planning in perceptual space using learned affordances, *Robotics and Autonomous Systems journal*, 59, 7-8, 580-595, (2011).
6. UGUR E., Celikkanat H., Sahin E., Nagai Y., Oztop E., Learning to Grasp with Parental Scaffolding, Proc. of 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, (2011) 480-486, IEEE Xplore.
7. BOZCUOGLU A.K., Sahin E., Traversability on a simple humanoid: What did I just trip over?, Proc. of 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, (2011) 701-706, IEEE Xplore.
8. UGUR E., Oztop E., Sahin E., Going beyond the perception of affordances: Learning how to actualize them through behavioral parameters. Proc. of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), (2011), pp. 4768 - 4773.
9. AKGUN B., Tunaoglu D., Sahin E., Action Recognition trough an action generation mechanism, Proc. of the Tenth International Conference on Epigenetic Robotics: Modeling Cognitive Development in Robotic Systems. Lund University Cognitive Studies, 149. Lund:LUCS., (2010) pp. 3-10 .
10. ATIL I., Dag N., Kalkan S., Sahin E., Affordances and Emergence of Concepts, Proc. of the Tenth International Conference on Epigenetic Robotics: Modeling Cognitive Development in Robotic Systems. Lund University Cognitive Studies, 149. Lund:LUCS., (2010) pp. 11-18.
11. DAG N., Atıl I., Kalkan S., Şahin E., Learning Affordances for Categorizing Objects and Their Properties," In Proc. of the 20th International Conference on Pattern Recognition, (2010), pp. 3089-3092.
12. AKGUN B., Dag N., Bilal T., Atil I, Sahin E.. Unsupervised Learning of Affordance Relations on a Humanoid Robot, In Proc. of the 24th Intl. Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS'09), IEEE Xplore, pp. 254-259, (2009).

Yönetilen Yüksek Lisans Tezleri :

1. BOZCUOGLU A.K. A Developmental Grasp Learning Scheme for Humanoid Robots. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2012 (asıl danışman).

2. YURUTEN O. Formation of Adjective, Noun and Verb Concepts through Affordances. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2012 (eş-danışman).
3. ATIL İ. “Emergence of verb and object concepts through learning affordances”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2010 (eş-danışman).
4. DAG, N. “Emergence of verb and object concepts through learning affordances”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2010 (eş-danışman).
5. TUNAOGLU, D., “Implementation of a closed-loop action generation system on a humanoid robot through learning by demonstration”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2010. (tek danışman)
6. AKGUN B., “Action recognition through action generation”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2010. (tek danışman)

Yönetilen Doktora Tezleri/Sanatta Yeterlik Çalışmaları :

1. UGUR E., “A Developmental Framework for Learning Affordances”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, (asıl danışman) 2010.