

# BİLİŞSEL ROBOTLARDA ORTAM MODELLEME WORLD MODELING FOR COGNITIVE ROBOTS

Melodi Deniz Ozturk<sup>a</sup>, Mustafa Ersen<sup>a</sup>, Mehmet Biberici<sup>a</sup>, Sanem Sariel-Talay<sup>a</sup>, Hulya Yalcin<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul. {ozturkm,ersenm,biberici,sariel}@itu.edu.tr

<sup>b</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul. hulyayalcin@itu.edu.tr

**Özetçe** —Bu bildiri, bilişsel robotlarda eylem yürütme hataları tespit edilirken kullanılmak üzere bir sahne yorumlama sistemi önerilmektedir. Bu sistemde nesne tanıma ve bölütleme sonuçları bir arada değerlendirilerek tutarlı bir ortam modeli oluşturulmaktadır. Nesnelerin tanınması için ortamdaki renk ve derinlik bilgilerinden yararlanılmaktadır ve tanınamayan nesnelere için derinlik haritası üzerinde Öklit uzaklığına göre bölütleme yapılmaktadır. Ortam modelinde nesnelerin konum bilgilerinin yanı sıra aralarındaki masa üstü nesne taşıma senaryolarına yönelik bir takım uzamsal ilişkiler (*üstünde*, *masa\_üstünde*, *üstü boş* ve *yakın*) de tutulmaktadır. Pioneer 3-AT ve Pioneer 3-DX robotlarımız üzerindeki RGB-D duyargalar kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları önerilen sistemin nesne taşıma senaryolarında tutarlı ortam modeli oluşturma ve uzamsal ilişkilerin belirlenmesi amacıyla başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler**—bilişsel robotlar, sahne yorumlama, uzamsal ilişkiler

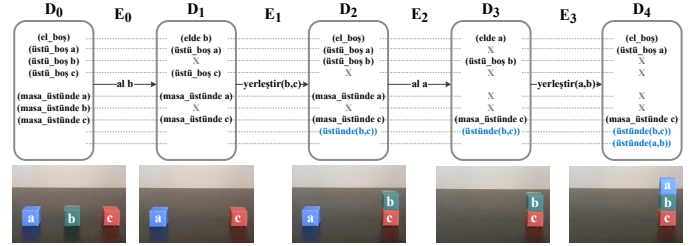
**Abstract**—In this paper, a scene interpretation system is proposed for cognitive robots to detect failures during their action executions. This system combines object recognition and segmentation results to maintain a consistent model of the world. Objects in the scene are recognized by using both color and depth information, and the unknown objects are segmented by using Euclidean clustering on the depth values. In addition to the locations of the objects, the world model includes some useful spatial relations for a tabletop object manipulation scenario: *on*, *on\_table*, *clear* and *near*. The results of the conducted experiments by using the information gathered from the onboard RGB-D sensors of our Pioneer 3-AT and Pioneer 3-DX robots show that the proposed system can be successfully used to create a consistent world model including spatial relations in an object manipulation scenario.

**Keywords**—cognitive robots, scene interpretation, spatial relations

## I. GİRİŞ

Bilişsel bir robot, verilen görevleri yerine getirmek için gerçek dünyanın sembolik temsili üzerinde plan oluşturabilir. Hedefe yönelik olarak oluşturulan sembolik plan gerçek dünyada yürütülürken bir takım hatalar oluşabileceğinden [1], robotun gerçek dünyanın dinamik durumları karşısında planını güncelleyebilmesi ve hatanın nedenini çıkarsayabilmek üzere

Bu çalışma 111E-286 no'lu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.



Şekil 1. Blok dünyası ortamında 3 bloğun üst üste yerleştirilmesine yönelik planda yürütülen eylemler ( $E_i$ ) ve yürütme esnasında gözlemlenmesi beklenen durumlar ( $D_j$ ).

ortamın mevcut durumunu yorumlayabilmesi gerekir. Bu nedenle, plandaki eylemler gerçek dünyada yürütülürken ortamın sürekli olarak gözlenmesi ve durumu betimleyen ilgili sembolik temsillerin çeşitli duyarga verileri üzerinden çıkarsanması gerekmektedir.

Örnek bir senaryo olarak, blok dünyası ortamında blokların üst üste yığılması uygulaması verilebilir. Şekil 1'de, 3 bloğun üst üste yerleştirilmesi için oluşturulan sembolik plan adımları ve bu adımlar esnasında ortamın beklenen sembolik ve görsel temsili görülmektedir. Planın etkin bir şekilde yürütülebilmesi için, her bir eylemin yürütülmesi öncesinde önkoşullarının gerçek dünyada sağlanıp sağlanmadığı ve yürütme sonrasında da beklenen durumun oluşup oluşmadığı sürekli olarak kontrol edilmelidir. Bu tür masa üstü nesne taşıma senaryolarında kontrol edilmesi gereken durumların nesnelerin konumlarına bağlı olan çeşitli uzamsal ilişkiler (örn., *üstünde*, *masa\_üstünde* vb.) olduğuna dikkat edilmelidir.

Literatürde sahne yorumlama üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bazı çalışmalarda, ortamdaki nesnelere arasındaki uzamsal ilişkiler 2B kamera görüntüsü üzerinden belirlenmektedir [2], [3]. Bir diğer çalışmada, robotun tanıdığı nesnelere arasında *üstünde* ve *çinde* ilişkileri belirlenerek, bu bilgi nesne arama uzayını daraltmak için kullanılmaktadır [4]. Başka bir çalışmada, ortamda 3 boyutlu modelleri kullanılarak tanıyan nesnelere arasındaki Öklid uzaklığına bakılarak sahneyi karakterize eden üst seviye ilişkiler (genelde yakın konumlarında bulunan nesnelere vb.) belirlenmektedir [5]. Hawes ve diğerlerinin çalışmasında ise uzamsal ilişkiler bağlama bağlı bir şekilde belirlenmektedir [6]. Bir diğer çalışmada, farklı kaynaklardan elde edilen veriler üzerinden olasılıksal çoklu hipotez bağlamaya dayalı bir yaklaşımla tutarlı bir ortam modeli oluşturulmaktadır, fakat nesnelere arasındaki uzamsal ilişkiler belirlenmemektedir [7].

Diğer çalışmalardan farklı olarak, bu bildiride sunulan sistemde, 3 boyutlu nesne tanıma ve sahne bölütleme yaklaşımları üzerinden planlama ve eylem yürütme hatalarını belirlemek üzere tutarlı bir ortam modeli oluşturulmaktadır. Ayrıca, nesne taşıma senaryolarındaki durumları betimleyen kullanılan nesnelere arasındaki uzamsal ilişkiler de belirlenerek ortam modeline eklenmektedir.

## II. BİLİŞSEL ROBOTLARDA ORTAM MODELLEME

Bu çalışmada, bilişsel robotlarda planın gerçek dünyada yürütülmesi sırasında ortamın sembolik seviyedeki durumunu belirlemek üzere zamansal bir sahne yorumlama sistemi sunulmaktadır. Sahne yorumlanırken, önce ortamdaki nesnelere 3B olarak tanınmakta ve tanınmayan nokta bulutları için de bölütlemeye dayanarak yararlanılmaktadır. Ortam modelinin güvenilirliğini artırmak üzere, tanıma ve bölütleme çıktıları zamansal olarak işlenmektedir. Masa üstü nesne taşıma senaryolarına yönelik sembolik temsillerin elde edilmesi için de nesnelere arasındaki gerekli uzamsal ilişkiler belirlenmektedir.

### A. Ortamdaki Nesnelere Üç Boyutlu Olarak Tanınması

Ortamdaki nesnelere, RGB-D duyargası ile elde edilen sahnenin renk ve derinlik haritaları üzerinden tanınması için LINE-MOD yöntemi [8] kullanılmaktadır. LINE-MOD, özellikle yerel değişimsiz betimleyicilerin başarılı sonuçlar veremediği doku bilgisi yetersiz nesnelere tanınması için önerilmiş çok-kipli şablon eşlemeye dayalı bir yaklaşımdır. Nesnelere modellemek üzere kullanılan şablonlarda nesne etrafındaki renk gradyan açıları ile nesne üzerindeki yüzey normallerinin açıları bir arada tutulmaktadır. Bu şablonlarda tutulan nicemlenmiş açı değerleri bellek üzerinde doğrusallaştırılmış bir yapıda oldukça hızlı bir şekilde eşleştirilebildiğinden, bu yöntem gerçek zamanlı nesne tanıma uygulamaları için uygundur.

Nesnelere renk bilgilerinin daha etkin bir şekilde kullanılması ve böylelikle daha gürbüz nesne tanıma sonuçları elde edilebilmesi için LINE-MOD ile bulunan eşleştirmeler üzerinde HSV renk uzayında histogram karşılaştırmasına dayalı bir doğrulama işlemi yapılmaktadır [9]. Bu renk uzayındaki V(value) kanalı ortamdaki ışık şiddetinin değişimine oldukça duyarlı olduğundan, histogramlar oluşturulurken bu kanal dikkate alınmamaktadır.

Robot ortamında verilen görevleri yerine getirirken, önceden modeli oluşturulmamış ve bu nedenle nesne tanıma yöntemleri ile ortamda bulunamayan nesnelere de karşılaşılabileceğinden, bu nesnelere de bölütlemeye dayalı bir yaklaşımla [10] ortam modeline dahil edilmesi sağlanmıştır. Bu yöntemle, ortamdaki büyük boyutlu düzlemler (masa, duvar vs) saptanarak elendikten sonra kalan nokta bulutları üzerindeki her bir bağılı bileşen potansiyel nesne olarak etiketlenmektedir. Öklid uzaklığı baz alınarak yapılan bu etiketleme işlemi sırasında 300 noktadan küçük veya 1000 noktadan büyük olan bölütler dikkate alınmamaktadır.

### B. Nesne Tanıma ve Bölütleme Çıktılarından Ortam Modelinin Oluşturulması

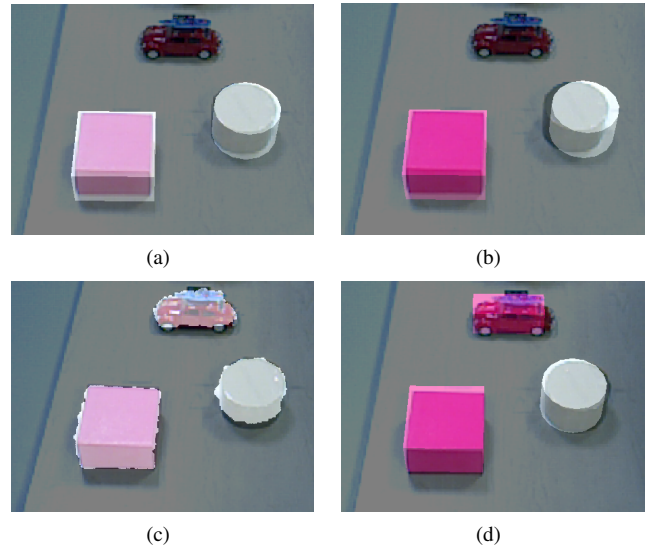
Fiziksel dünyada, robotların duyurgalarından alınan verilerde değişken ışık koşulları ya da hareketli ortamlar gibi nedenlere bağlı olarak belirsizlik bulunmaktadır. Bu belirsizlik,

bilişsel robot görevlerinde kullanılmak için anlık nesne tanıma sonuçlarını tek başlarına yetersiz kılar. Bu durumla başa çıkabilmek için tek bir sahne yerine bir sahneler dizisi kullanılarak oluşturulan bilgiyi kullanan zamansal bir sahne yorumlama sistemi geliştirilmiştir. Bu sahne yorumlama sistemi, robotun bilgi tabanına sahnedeki nesnelere ( $n_i \in \mathcal{N}$ ) ve aralarındaki uzamsal ilişkileri sembolik bir temsille işler.

Ortam modelinin tutarlı bir şekilde oluşturulabilmesi için birden fazla kaynaktan gelen duyuşsal bilginin ( $b_i \in \mathcal{B}$ ) birlikte kullanılması faydalıdır. Bu sebeple nesne tanıma sonuçları, derinlik-tabanlı bölütleme sonuçları ile birleştirilir. Bölütleme ile elde edilen nokta bulutları ortam modeline henüz tanımlanmamış nesnelere olarak eklenirler. Böylece nesne tanıma tarafından tanınamayan nesnelere nesne tanıma gerçekleşene kadar bilgi tabanında temsili sağlanmış olur. Bu işlem aynı zamanda hiç modeli olmayan nesnelere de ortamda konumlandırılmasını sağlar. Şekil 2’de, (a) LINE-MOD, (b) LINE-MOD&HS histogramları ve (c) bölütleme sonuçlarının (d) bilgi tabanının oluşturulmasına katkıda bulunmaları görülmektedir. Burada, pembe kutunun şekil ve renk bilgisinin nesne tanıma çıktısından elde edildiği, silindirik nesnenin sadece şeklinin LINE-MOD yardımıyla elde edildiği ve kırmızı oyuncak arabanın bilgi tabanında şablonu bulunmadığından bölütleme çıktısı yardımıyla prizmatik bir şekilde modellendiği ve renginin mevcut şablonlarla HS histogram benzerliği ile belirlendiği görülmektedir.

Bilgi tabanındaki her nesne  $n_i$  için, robot ortamında bulunmalarının kesinliğini temsil eden bir güven  $g_i^t$  değeri tutulmaktadır. Bu değer nesne ilk yaratıldığında 0’a eşitlenir ve sonrasında  $0 \leq g_i^t \leq 1$  olacak şekilde aşağıdaki gibi güncellenir:

$$g_i^t = g_i^{t-1} + \begin{cases} -0.1, & \text{if } \sum_{b_j} g_{ij}^t = 0 \wedge \sum_{b_j} a_{ij}^t > 0 \\ \sum_{b_j} d_j \cdot a_{ij}^t \cdot g_{ij}^t, & \text{if } \sum_{b_j} g_{ij}^t > 0 \wedge g_i^{t-1} < 1 \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 2. (a) LINE-MOD, (b) LINE-MOD&HS histogramları ve (c) bölütleme çıktıları bir arada değerlendirilerek oluşturulan (d) ortam modeli.

Burada  $g_{ji}^t$ ,  $n_i$  nesnesinin  $b_j$  bilgi kaynağı tarafından tanınması sırasındaki benzerlik oranını temsil eder. Bölütleme algoritmasında bir benzerlik ölçütü olmadığı için elde edilen sonuçların benzerlik değerleri 1 olarak alınır. Deneysel olarak belirlenen  $d_j$  değeri,  $b_j$  kaynağından alınan bilginin değerlendirileceği ağırlığı belirtir ve o kaynağın güvenilirliğini temsil eder. Genel olarak LINE-MOD ve renk histogram bilgisinin birlikte kullanıldığı nesne tanıma sonuçlarının, yalnızca LINE-MOD algoritmasının verdiği sonuçlara göre daha güvenilir olduğu tespit edilmiş ve bu nedenle bu kaynağın  $d_j$  değeri daha yüksek tutulmuştur. Görüş alanı katsayısı  $0 \leq a_{ij}^t \leq 1$  nesnenin ve robotun konumları ile robotun yönelimine göre değişiklik gösterir, ve nesnenin o anda  $b_j$  tarafından algılanma beklentisini temsil eder. Bu değer  $b_j$  bilgi kaynağının algılama sınırları göz önüne alınarak deneysel bir şekilde tespit edilmiştir. Nesne, robotun görüş alanı dışında ise o nesnenin bilgi tabanında mevcut olmasına ilişkin güven değeri sabit kalır.

Yeni gelen bir nesne tanıma çıktısının bilgi tabanındaki mevcut nesnelere birine ait olduğuna karar verilebilmesi için yeni tanınmanın eski nesne ile kesişen üç boyutlu uzayda yapılmış olması gerekir. Bu durumda, yeni tanıma sırasındaki benzerlik oranı  $g_{ij}^t$  nesnenin tipini belirlemek için de kullanılır. Aynı nesne üzerinde yapılan farklı tip algılarına ilişkin bilgiler bir ağırlıklı listede tutulur ve her tipin ağırlığı o tipe ait yapılan yeni bir tanımada o tanımın benzerlik oranı ile orantılı bir şekilde artar. Ağırlığı en yüksek olan tipin gerçek tip olduğu varsayılır. Yalnızca bölütleme algoritması tarafından bulunan nesnelere için bir tip bilgisi tutulmaz. Nesne tanıma algoritması tarafından bu bilgi sağlanırsa, bilgi tabanında güncelleme yapılır. Benzer bir ağırlıklı liste nesnenin renk bilgisi için de kullanılır.

Tip, renk ve güven değerlerinin yanı sıra nesnelere ait konum bilgisi de nesneye ait yapılan her tanımada güncellenir. Bu sayede robot konumlanmasında oluşan hatalara karşı nesnenin konumu hakkında daha güvenilir bir bilgiye erişilir, ve aynı zamanda küçük nesne hareketlerine karşı da gürbüzlük sağlanmış olur.

$$\text{konum}_i^t = \frac{g_i^{t-1} \cdot \text{konum}_i^{t-1} + \sum_{b_j} (d_j \cdot a_{ij}^t \cdot g_{ij}^t \cdot \text{konum}_{ij}^t)}{g_i^t} \quad (2)$$

Burada,  $\text{konum}_i^{t-1}$ ,  $n_i$  nesnesinin  $t - 1$  zamanında bilgi tabanında tutulan konum vektörü bilgisini,  $\text{konum}_{ij}^t$  ise yeni yapılan tanıma ait konum bilgisini temsil eder. Robot çevresi ile etkileşime geçtiği zaman, dünya modeli de sürekli olarak güncellenir. Bir nesne robot tarafından taşınıyorsa, robot tutucusu tarafından tutulmaya devam ettiği sürece nesnenin konumu tutucunun konumu olarak güncellenir. Robot tutucusunun boş olduğu algılandığında (örneğin robot nesneyi yere koyduğunda ya da düşürdüğünde) nesne konumunun güncellenmesi durdurulur ve nesne tekrar algılanana kadar nesnenin son konumunu koruduğu varsayılır.

### C. Nesnelere Arasındaki Uzamsal İlişkilerin Belirlenmesi

Bilişsel robotlarda nesne kullanımını gerektiren görevlerde, nesnelere ortamdaki konumlarının doğru bir şekilde tutulmasının yanısıra nesnelere arasındaki uzamsal ilişkilerin de belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada *üstünde* ve *yakın* ilişkilerinin belirlenmesi üzerinde durulmuş ve ayrıca nesnenin

masa üzerinde bulunması (*masa\_üstünde*) ve üzerinde herhangi bir nesnenin bulunmaması (*üstü\_boş*) durumları da dikkate alınmıştır.

Ortamda tanıma veya bölütleme çıktılarından yararlanılarak konumlandırılan nesnelere *üstünde* ilişkisi içinde yer almayanların *masa\_üstünde* ve *üstü\_boş* oldukları varsayılmaktadır. Her bir nesne çifti  $(n_i, n_k)$  arasında *üstünde* ilişkisinin mevcut olup olmadığı belirlenirken nesnelere  $xy$  düzlemindeki izdüşümlerinin kesişip kesişmediğine (*kesisiyor* $_{xy}(n_i, n_k)$ ) ve bir nesnenin diğer nesneye yukarıdan teğet olup olmadığına (*ustten\_teget* $_z(n_i, n_k)$ ) bakılmaktadır. Bu işlem aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$\forall n_i, n_k, \text{kesisiyor}_{xy}(n_i, n_k) \wedge \text{ustten\_teget}_z(n_i, n_k) \Rightarrow \text{ustunde}(n_i, n_k) \quad (3)$$

Plan yürütme esnasında oluşabilecek hataların olası sebeplerinden biri de nesnelere birbirleri üzerine dengesiz bir şekilde yerleştirilmesi olduğundan, ortamdaki nesnelere arasında belirlenen her bir *üstünde* ilişkisi için bir de denge değeri tutulmaktadır. Üst üste duran nesnelere ne kadar dengeli bir yapı oluşturduğu konusunda bilgi veren bu denge değeri, üstteki nesnenin alttaki nesne tarafından desteklenmeyen kısmı ile ters orantılı bir şekilde hesaplanmaktadır. Aralarında *üstünde* ilişkisi belirlenen nesnelere masa üzerinde ve üstü boş olma durumları aşağıdaki şekilde güncellenmektedir.

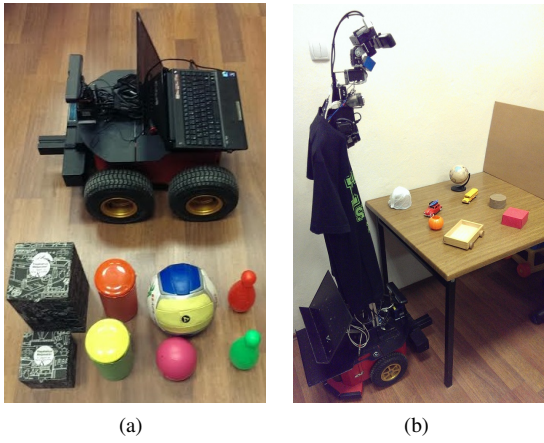
$$\forall n_i, n_k, \text{ustunde}(n_i, n_k) \Rightarrow \neg \text{masa\_ustunde}(n_i) \wedge \neg \text{ustu\_bos}(n_k) \quad (4)$$

Nesne taşıma senaryolarında hata belirlemede, taşınacak nesnenin diğer nesnelere yakınlığı da önem kazanmaktadır. *üstünde* ilişkisi içinde olmayan nesnelere arasındaki yakınlık ilişkisi, nesnelere ebatlarına bağlı bir şekilde aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmektedir. Her bir boyutta ( $x$ ,  $y$  ve  $z$ ), iki nesnenin ortam modelindeki orta noktaları (ağırlık merkezi) arasındaki uzaklık, nesnelere o boyuttaki toplam uzunluğundan küçükse, ilgili nesnelere birbirine *yakın* kabul edilmektedir.

$$\forall n_i, n_k, (\text{ebati}_{i,x} + \text{ebatk}_{k,x} \geq \text{uzaklik}_{ik,x}) \wedge (\text{ebati}_{i,y} + \text{ebatk}_{k,y} \geq \text{uzaklik}_{ik,y}) \wedge (\text{ebati}_{i,z} + \text{ebatk}_{k,z} \geq \text{uzaklik}_{ik,z}) \Rightarrow \text{yakın}(n_i, n_k) \quad (5)$$

## III. DENEYLER

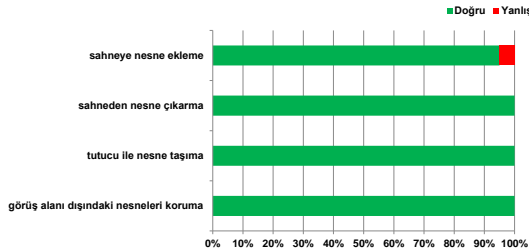
Sunulan sahne yorumlama sisteminin başarımını analiz etmek üzere iki farklı robot platformu üzerinde deneyler yapılmıştır. Ortam modelindeki güncellemelerin doğruluğu, Şekil 3(a)'da görülen Pioneer 3-AT robotumuz ve nesnelere kullanılarak sınanmıştır. Bu nesnelere, farklı boyarlarda iki siyah kutu, farklı renklerde iki silindirik kutu, farklı boyarlarda ve renklerde iki top ve farklı renklerde iki plastik bowling lobutu şeklindedir. Nesnelere arasında belirlenen uzamsal ilişkilerin doğruluğunu sınamak için de, Şekil 3(b)'de gösterilen Pioneer 3-DX tabanlı insansı robotumuzun kafası üzerine yerleştirilmiş olan Asus Xtion Pro Live RGB-D duyargası ile masa üzerindeki nesnelere yararlanılmıştır. Bu nesnelere, masaüstü dünya küresi, farklı renklerde iki oyuncak araba, kahverengi silindirik nesne, pembe kutu, oyuncak tahta vagon, oyuncak balkabağı ve yarım küre şeklinde buruşturulmuş poşetten oluşmaktadır.



Şekil 3. (a) Pioneer 3-AT robotumuz ve ortam modelinin tutarlılığının sınıandığı deneylerde kullanılan nesnelere, (b) Pioneer 3-DX tabanlı insansı robotumuz ve masa üstü deneylerde kullanılan nesnelere.

İlk olarak robotun bilgi tabanında oluşturulan ortam modelinin tutarlılığı sınıandı. Bu deneylerde, sahneye yeni bir nesne eklendiğinde, sahnedeki nesne çıkarıldığında ve robot tutucusu yardımıyla bir nesnenin konumunu değiştirdiğinde ortam modelinin uygun şekilde güncellenip güncellenmediği ve robotun görüş alanı dışında kalan nesnelere güven değerlerinin korunup korunmadığı gerçek dünya üzerinde 20'şer örnek sahne üzerinde analiz edilmiştir. Şekil 4'te gösterilen sonuçlara göre sahneye yeni bir nesne eklendiğinde nesnenin tanınmaması nedeniyle uygun şekilde ortam modeline dahil edilmediği hatalı durumların oluştuğu görülmüştür. İncelenen diğer maddelerde herhangi bir hatalı sonuçla karşılaşmamıştır ve %100 başarımla elde edildiği gözlenmiştir.

Ortam modelinin tutarlılığı sınıandıktan sonra, bilgi tabanına dahil edilen nesnelere arasındaki uzamsal ilişkilerin belirlenme başarımları analiz edilmiştir. Bu deneyler, *üstünde* ve *yakın* ilişkilerinin bulunduğu 20'şer sahnenin yanısıra herhangi bir ilişki buldurmeyen 20 sahne üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Tablo 1'de *Kesinlik*, *Anma* ve *F-Ölçütü* şeklinde verilmiştir. Bu sonuçlara göre, sistemin masa üstü senaryolarında kullanılan nesnelere arasındaki uzam-



Şekil 4. Bilgi tabanında tutulan ortam modelinin doğruluğu.

Tablo I. MASA ÜSTÜ NESNELERİNDE UZAMSAL İLİŞKİLERİN BELİRLENME BAŞARIMI.

	Kesinlik	Anma	F-Ölçütü
<i>üstünde</i>	%100.00	%95.00	%97.44
<i>dengeli</i>	%94.44	%94.44	%94.44
<i>masa_üstünde</i>	%98.04	%100.00	%99.01
<i>üstü_boş</i>	%98.04	%100.00	%99.01
<i>yakın</i>	%100.00	%100.00	%100.00

sal ilişkileri yüksek başarımla belirleyebildiği görülmektedir. *üstünde* ilişkisi belirlenirken gözlenen hataların, *masa\_üstünde* ve *üstü\_boş* ifadelerinin belirlenmesindeki başarımları da etkilediği görülmüştür. *üstünde* ilişkisi içindeki nesne çiftlerinin oluşturduğu yapının dengesi belirlenirken karşılaşılan hataların da ortamda tanınarak bilgi tabanına eklenen nesnelere belirlenen konumlarındaki kayıklıklardan kaynaklandığı anlaşılmıştır. *yakın* ilişkisinin belirlenmesinde ise %100 başarımla elde edilmiştir.

#### IV. SONUÇ

Bu çalışmada, bilişsel robotlarda görevlerin gürbüz bir şekilde yürütülebilmesi için yaşam boyu deneysel öğrenmeye dayalı bir yapı içerisinde kullanılmak üzere bir zamansal sahne yorumlama sistemi sunulmuştur. Bu sistemde ortam modeli oluşturulurken, Pioneer 3-AT robotumuz ve Pioneer 3-DX tabanlı insansı robotumuz üzerine yerleştirilen RGB-D duyarlılar kullanılarak elde edilen renk ve derinlik bilgilerinden yararlanılmaktadır. Önceden modeli bulunan nesnelere ortamda 3 boyutlu bir nesne tanıma yaklaşımı yardımıyla tanınırken, tanımlanamayan nokta bulutları bölütleme yardımıyla ortam modeline dahil edilmiştir. Ayrıca, nesnelere arasında masa üstü nesne taşıma senaryolarına yönelik uzamsal ilişkiler de belirlenmiştir. Önerilen sistem üzerinde gerçekleştirilen deneyler, masa üstü nesne taşıma senaryolarında nesnelere arasındaki ilişkiler belirlenerek ortam modelinin başarıyla oluşturulabildiğini ortaya koymaktadır.

#### KAYNAKÇA

- [1] S. Karapinar, D. Altan, and S. Sariel-Talay, "A robust planning framework for cognitive robots," in *Proc. of the AAAI-12 Workshop on Cognitive Robotics*, 2012, pp. 102–108.
- [2] Z. Falomir, E. Jiménez-Ruiz, M. T. Escrig, and L. Museros, "Describing images using qualitative models and description logics," *Spatial Cognition and Computation*, vol. 11, no. 1, pp. 45–74, 2011.
- [3] H. S. Sokeh, S. Gould, and J. Renz, "Efficient extraction and representation of spatial information from video data," in *Proc. of the 23rd Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI'13)*, 2013, pp. 1076–1082.
- [4] K. Sjöo, A. Aydemir, and P. Jensfelt, "Topological spatial relations for active visual search," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 60, no. 9, pp. 1093–1107, 2012.
- [5] A. Kasper, R. Jäkel, and R. Dillmann, "Using spatial relations of objects in real world scenes for scene structuring and scene understanding," in *Proc. of the 15th IEEE Intl. Conference on Advanced Robotics (ICAR'11)*, 2011, pp. 421–426.
- [6] N. Hawes, M. Klenk, K. Lockwood, G. S. Horn, and J. D. Kelleher, "Towards a cognitive system that can recognize spatial regions based on context," in *Proc. of the 26th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'12)*, 2012, pp. 200–206.
- [7] J. Elfving, S. van den Dries, M. J. G. van de Molengraft, and M. Steinbuch, "Semantic world modeling using probabilistic multiple hypothesis anchoring," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 61, no. 2, pp. 95–105, 2013.
- [8] S. Hinterstoisser, C. Cagniard, S. Ilic, P. F. Sturm, N. Navab, P. Fua, and V. Lepetit, "Gradient response maps for real-time detection of textureless objects," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, no. 5, pp. 876–888, 2012.
- [9] M. Ersen, S. Sariel-Talay, and H. Yalçın, "Extracting spatial relations among objects for failure detection," in *Proc. of the KI 2013 Workshop on Visual and Spatial Cognition*, 2013, pp. 13–20.
- [10] A. J. B. Trevor, S. Gedikli, R. B. Rusu, and H. I. Christensen, "Efficient organized point cloud segmentation with connected components," in *3rd Workshop on Semantic Perception, Mapping and Exploration (SPME)*, 2013.