

İnsan-Robot Etkileşimi Yoluyla İnsan Niyetlerinin Tahmin Edilmesi ve Değiştirilmesi

Estimating and Reshaping Human Intention via Human-Robot Interaction

Akif Durdu, İsmet ERKMEN, Aydan M. ERKMEN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

dakif@metu.edu.tr, erkmen@metu.edu.tr, aydan@metu.edu.tr

Özet

İnsan niyetlerinin tahmin edilmesi ve değiştirilmesi, insan-robot etkileşim alanında bulunan iki önemli araştırma konusudur. Özellikle insan niyetlerinin tanımlanması konusu, literatürde iyi bilinen araştırma konusu olmasına rağmen, tanımlanan insan niyetlerinin değiştirilmesi konusu literatürdeki yeni konu başlıklarından biridir. Bu bildiride, gerçek bir insan-robot ortamındaki, robotların hareketlerine göre insan niyetlerinin nasıl değiştiğini araştırılmıştır. Akıllı robotik sistemler için Saklı Markov Modelleri (Hidden Markov Model-HMM) yöntemi, bizim yaklaşımımızda kullanılmıştır. Algoritmaya bağlı tasarlanan sistem, iki önemli kısımdan oluşmaktadır: ilk kısım, insan ve robotların sistem tarafından izlemesidir ve ikinci kısım ise insan niyetlerini değiştirmek için robot hareketlerinin kullanımıdır. İlk bahsedilen kısımda, insanın konumu ve pozisyonu ile robotların konumları, düşük seviyeli video işleme yöntemleriyle takip edilmektedir. İkinci bahsedilen aşamada ise HMM yöntemiyle, insan niyetini tahmin etmek ve değiştirmek amaçlanmıştır. Bu sistem gerçek ortamdan alınan verilerle test edilmiştir ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Abstract

Two important research areas in the field of human-robot interaction are estimating and reshaping human intentions. Although studies on estimating human intentions are quite well known research topics in the literature, reshaping human intentions with interactions between human and robots is a new branching in the area of human-robot interaction. In this paper, we present how the human intentions change based on human actions by moving the robots in a real human-robot environment. The Hidden Markov Model (HMM) for the intelligent robotic systems is used in our approach. The algorithmic design of the system comprise of two parts: the first part is tracking of the human and the robots and second part is the use of intelligent robots that aims to change intentions of individuals in the environment. In the former part, postures and locations of the human and locations of the robots are observed by using low-level video processing methods. The latter part, learned HMM models are used to estimate and reshape human intention. This system is tested on video frames taken from a real human-robot environment and the obtained results is discussed.

1. Giriş

Genellikle işbirliği görevlerinde kullanılan insan-robot etkileşimi için güvenilir ve eksiksiz bir haberleşme özelliği gereklidir. İnsan ve robot arasında haberleşme sisteminin olmadığı durumlarda, niyet tanımlama ya da niyet tahmin edebilme mekanizmasının kurulmasıyla birbirleri arasındaki işbirliği sağlanabilir. Belirli bir ortamda niyetini açıkça gösterebilen insanın niyetinin tahmin edilebilmesi sayesinde hem haberleşme sisteminin kurulumuna gerek duyulmaz hem de onun için harcanacak bütçe kalemi azaltılmış olur [1]. Bu çalışmada, sözlü [1] ya da el-kol hareketleri tabanlı haberleşme yöntemleri kullanılmayan insan-robot etkileşimi incelenmektedir. Bizim metodumuzun diğer klasik niyet tanımlama problemlerinden en önemli farkı; tahmin edilen insan niyetinin değiştirilmesi probleminin de araştırılmasıdır. Bu bildiride, aynı zamanda, problemin çözümüne yönelik hem donanım hem de yazılım öğeleri içeren bir ortam prototipi sunulmaktadır.

Niyet konusu yıllardır filozoflar tarafından tartışılmaktadır [2,3]. Filozoflara göre niyet tahmininin teknik kelimeler ile tanımı: “insan hareketleri ile bu hareketlerin ortamda meydana getirdiği etkilere göre insan niyeti hakkında sonuç çıkarabilme problemi” [1]. Birçok insan-robot etkileşimi uygulamasında kullanılan niyet tahmini problemi, bir başka deyişle plan tanımlama problemi olarak ta karşımıza çıkabilmektedir. Örneğin, bir bilgisayar oyununda ki kullanıcı olan insanın, oyundaki planlarının ne olduğunu, oyun oynarken ki hareketlerine bağlı olarak tanımlamasını yapmak [4]. Bir diğer taraftan Koo ve arkadaşları, üzerinde IR(infra-red) sensörler olan robotlarla, insan hareketlerine bağlı niyetleri tanımlamaya yönelik gerçek zamanlı bir deney kurulumu yapmışlardır [8]. Bu uygulamada insanın, robotla olan mesafesi ölçülerek geliş/gidiş yönü ve hızı hesaplanarak insanın robota yaklaşma, uzaklaşma ve etkileşme niyetleri incelenmiştir. Aarno ve arkadaşları ise robot-el hareketinin HMM yöntemi kullanılarak insan niyetinin tanımlanmasına yönelik farklı bir çalışma örneği sunmuşlardır [5]. Bu uygulamada tanımlanan robot-el hareketleri daire, elips v.b. gibi geometrik şekillerdir. Robot-el'i kullanan insanın hangi geometrik şekli çizdirmek niyetinde olduğunu tanımlama problemi araştırılmıştır. Bu bildiride, görüntü işleme tabanlı insan niyetlerinin tahmini ve tahmin edilen niyetlerin robot hareketleriyle değiştirilebilmesi konusu incelenmektedir.

Bundan sonraki kısımda; sistemin, insan pozisyonlarını ve konumunu kullanarak niyetinin nasıl tespit edildiğini detaylandırıyoruz. İlk olarak sistemin donanım öğelerinin

olduğu deney ortamı hakkında bilgi verilmektedir. İkinci olarak, insan niyetini tahmini ve değiştirilmesi ile ilgili yazılım öğeleri anlatılmaktadır. Bildirinin son kısmında, elde edilen deney sonuçları paylaşılmaktadır.

2. Sistem Tasarımı ve Metodoloji

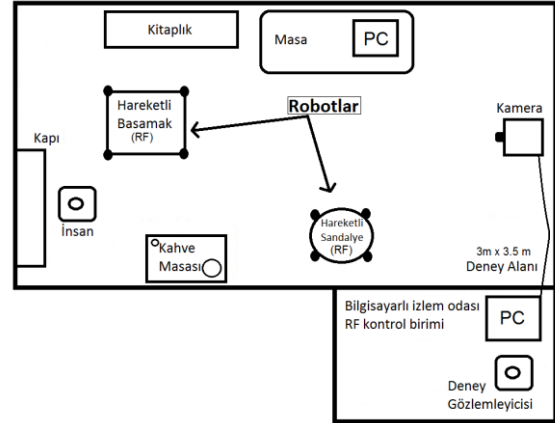
Görüntü işleme tabanlı tasarım ve algoritma geliştirme, kamera görüntülerinden alınmış bir dizi resimden sonuç çıkarma aracılığı ile yapılır. Bu çalışmada, görüntü işleme araştırmacılarının yıllardır üzerinde çalıştığı iki önemli konu üzerinde duruyoruz: Bir resmin içindekilerin ne olduklarını tanımlama ve tanımlanan objelerin yerlerinin tespit edilmesi. Tanımlama, temel olarak, belirli bir hedef resmin, birçok parçalı sınıflardan birine atanmasıdır. Bununla birlikte, hedefin ne olduğu bilindiği kabul edilen bir uygulamada, video akışı içindeki herhangi bir niyeti gerçekleştirmek amacıyla yapılan hareketin ne olduğu bilinmeyebilir. Bizim video akışı kurulumumuzda, sadece insan ve robotların bulunduğu bir odada insan yürümesinden yola çıkılarak insan niyetleri tanımlanmaktadır. İnsan pozisyon ve konum bilgileri, görüntü işleme yöntemleri kullanılarak tespit edilebilmektedir. Bu görüntü işleme teknikleri, insan-robot etkileşiminde şimdiye kadar tercih edilen bir yöntem olmamakla birlikte gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde ilerleyen yıllarda -verdiği sonuçlar dikkate alındığında- literatürde daha çok yer alacaktır [6]. Örneğin, sadece sensörler kullanılarak robota yaklaşan bir insanın, sadece hızına ve konumuna bağlı olarak niyetini çıkarmaya çalışabilirken, görüntü işleme yöntemleri sayesinde insanın robota yaklaşırken yüzünün robota mı dönük yoksa başka bir işle ilgilenirken öylesine mi robotun yanından geçtiği tespit edilebilmektedir. Bunun gibi, görüntü işlemenin, daha birçok avantajından bahsedilebilmektedir. Mevcut resim bilgisinden sürekliliği olan video çıkışlarına eşleştirmeler yapabilen görüntü işleme tabanlı yaklaşımımız, hem öğrenme hem de ilişkilendirme özelliklerine sahiptir. Görüntü işleme tabanlı kurulumumuzda, web-kamerası ile ortamdaki görüntü yakalanıyor ve bunu dijital biçime dönüştürülüyor. Dijital biçimdeki görüntüdeki nesnelerin bazı özellikleri, tanımlayıcı aracılığıyla ayırt ediliyor ve özellik vektörüne yerleştiriliyor. Yani görüntüdeki insanın konumu ve pozisyonu ile robotların konumları özellik vektörüne aktarılıyor. Bu özellik vektörü bir öğrenme algoritmasından geçirilerek insan niyeti tahmin edilmektedir.

Bizim çalışmamızın bir diğer önemli tarafı ise, insan niyetinin tahmininin yanı sıra tahmin edilen niyetin robotlar aracılığı ile değiştirilmeye çalışılmasıdır. Bu amaç için tasarlanan ortamda bulunan robotlar, insanın mevcut niyetini değiştirmeye yönelik bir senaryo dâhilinde hareketler yapmaktadır. Fiziksel ortam, insan-robot etkileşiminin gelişmesine yardım etmek için tasarlanmıştır. Bu kurulumdaki, insanın o andaki sahip olduğu niyetini anlamak ve o niyetin değiştirilmesi süreci, insan-insan etkileşimi göze alındığında karmaşık bir problemdir.

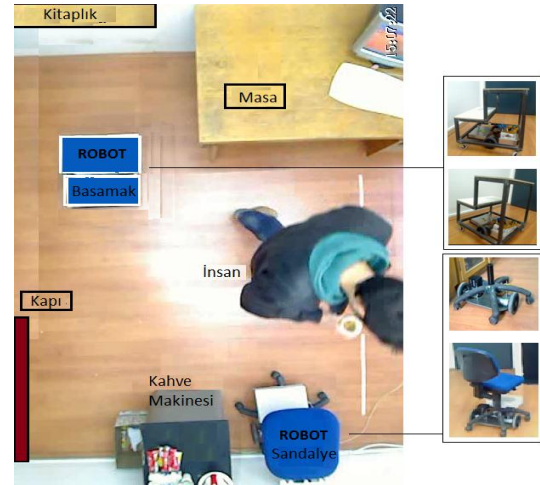
İlk olarak insan-insan etkileşimi düşünüldüğünde, iki insanın birbiri ile sohbet ederken ki durumlarından bir tanesi; karşıdaki insanın niyetini anlamak ve konuşmanın seyrini ona göre şekillendirmektir. Bir başka örnek ise beraber yürüten iki insanın, yürüme niyetinin devam edip etmeyeceğine birbirinin adımlarına göre karar vermeleri ve adımlarını birbirlerini uydurmaları olabilir. Bu gibi insan-insan etkileşimlerinde, birbirinin motivasyonunun altında yatan bilinçten bağımsız olarak konuşmanın seyrine ve bir

dize yapılan hareketlere göre tamamıyla bilinçaltından çıkarılan sonuca, niyet tahmini denilebilir.

Bir diğer taraftan insan-robot etkileşimi göze alındığında, insan niyetini tahmin edebilmek için haberleşme araçları ya da insanın bilinçaltı kullanılamaz. Çok akıllı bir mekanizma olan insanın, niyetlerinin çok hızlı değişebildiği gözden kaçırılmaması gereken bir durumdur. Bu yüzden, bizim uygulamamızda, bir dize hareketin ardından insanın niyetini değiştirebileceği olasılığı ihmal edilmiştir. Aşağıda kurduğumuz düzeneğin üstten görünüş olarak prototipi ve gerçekleştirilen düzeneğin görüntüsü verilmiştir (Bkz. Şekil 1 (a) ve (b)).



Şekil 1(a): Deney alanının prototipi



Şekil 1(b): Gerçek deney alanının görüntüsü

2.1. Deney amaçlı kurulan düzenek

Deney amaçlı kurulan alan (Şekil 1.a), insan niyetini tahmin etmek ve bu niyetin robot hareketleriyle değişimini gösterebilmek için tasarlanmıştır. Oda içerisinde çalışma masası, kitaplık, kahve makinesi, robot sandalye, robot basamak ve ortamı kaydeden iki kamera bulunmaktadır (Şekil 1.b). Bu kameralardan birisi duvara monte edilmiş olup, insan pozisyonunu çıkarmak için çalıştırılırken, diğer kamera tepede olup, insan ve robot konumlarını elde etmek için kullanılmaktadır. Bilgisayar tarafından uzaktan kontrol edilebilen robotlar, bir dizi hareket yaparak, insanın mevcut olan niyetini değiştirmeye çalışmaktadır. Örneğin, çalışma

masasında bilgisayar ile ilgilenen birisinin, robot basamağın hareket etmesiyle oturduğu yerden kalkıp kitap almaya yönelmesi gibi. Robot sandalye ve basamak, 12 V DC motor ile hareket ettirilmekte ve üzerinde akü bulunmaktadır. Bilgisayar ile robotlar arasındaki iletişim radyo frekansı (RF) ile sağlanmaktadır. Bizim uygulamamızda, insanların ortamda rahat hareket edebilmesine izin verilirken, robotlara ve ortamdaki diğer donanımlara zarar vermeleri yasaklanmıştır. Katılımcıya, bu uyarının yanında ortam hakkında hiçbir bilgi verilmemiştir.

18 ile 24 yaşları arasında on beş üniversite öğrencisi bu uygulamaya katılmışlardır. Bunlardan hiçbirisi uygulama hakkında önbilgiye sahip değillerdi. Yani ortamda hareket edebilen robotlardan ve bu uygulamada niyetlerinin anlaşılmasına çalışıldığından haberleri yoktu. Böylece ortamda daha doğal hareket edebilmeleri sağlanmıştır. İlk olarak ortamda hareket eden robotların kontrollerinin deney gözlemcisi tarafından bir senaryoya uygun olarak yapıldığı görüntüler kaydedilmiştir. Bu görüntüler, makine(bilgisayar) öğrenmesinde kullandığımız bilgi setini oluşturmaktadır. Böylece gerçek zamanlı uygulamalar için bir alt yapı kurulmuştur.

2.2. Metodoloji

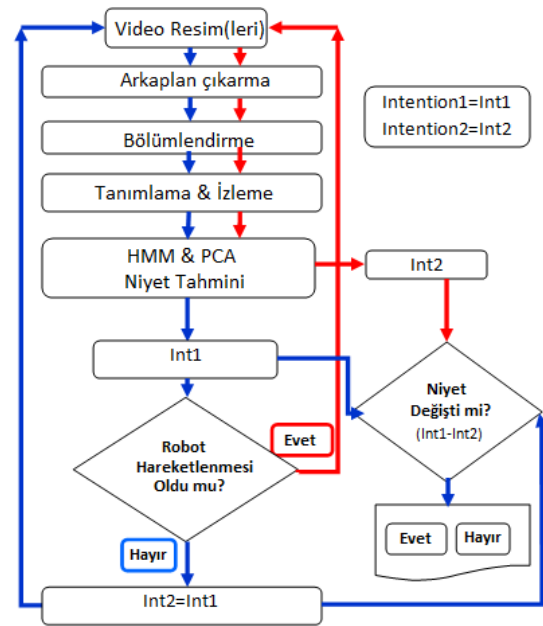
Tahmin edilen niyetin, hareketli robotlar kullanılarak değiştirilmesine yönelik algoritma tabanlı yaklaşım, üç aşamadan oluşmaktadır:

İlk aşama, düşük seviyeli arka plan çıkarma ve eşleştirme yöntemlerini kullanarak nesne tanımlama ve takip etme ile ilgilidir. Bu aşamada, video görüntülerinde sabit bir arka plana sahip olan insan ve robotların tanımlanma ve takip edilme kademleri şu şekildedir: 1) insan ve robotların ortamda olmadığı zamanda alınan birkaç resim sabit arka plan olarak kaydediliyor, 2) insan ve robotların olduğu video resimlerindeki hareket eden pikseller sabit arka plan resmi ile karşılaştırıldıktan sonra tespit ediliyor, 3) hareket eden pikseller birbirine bağlı öge analizi kullanarak gruplandırılıyor ve bu gruplamalar insan veya robotlar olarak etiketleniyor, 4) son olarak, video'da ki en son resimdeki etiketlendirme, bir önceki resimle yapılan eşleştirmeye göre yapılıyor. Bu eşleştirme tekniği sayesinde, daha hızlı tanımlama ve takip etme yapılabilir.

İkinci aşama, Bayes sonuç çıkarma yöntemi kullanılarak düşük seviye bilgilerden yüksek seviyeli bilgilerin elde edilmesiyle ilgilidir. Bu aşamada, insan niyetini yansıtan anlık hareketlenmeler, gözlemlenen aktiviteler durumu olarak tanımlanmıştır. Tek bir resim içindeki bir durum, tek başına bir niyeti tarif edebilmek için yeterli değildir. Bu yüzden yirmi resimlik resim dizileri kullanıyoruz ve buna göre niyete karar veriyoruz. Bir dize oluşturulduğu zaman, Bayes sonuç çıkarma yöntemi çalıştırılarak niyetin ne olduğu tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu uygulamada bayes sonuç çıkarma yöntemi olarak, insan pozisyonunu ve konumunu öğrenme setinde kullandığımız Saklı Markov Modeli (HMM) kullanılmıştır. Ayrıca insan pozisyonunun belirlenmesi aşamasında Ana Bileşen Tahlili (Principal Component Analysis-PCA) yöntemi kullanılarak öklit (Euclidean) mesafesi ölçülerek karar verilmektedir.

Son aşama, robotların insan niyetini değiştirip değiştirmediğinin tespit edilmesiyle ilgilidir. Bu aşamada,

sistem, insanın şimdiki niyeti ile robotlar hareket ettiği zamanki niyetiyle aynı olup olmadığını karşılaştırmaktadır. Sistemin bütün aşamalarıyla ilgili akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: *Sistemin akış diyagramı*

2.2.1. Düşük seviyeli nesne tanımlama ve takip etme

Bu uygulamanın en önemli kısımlarından bir tanesi, sabit bir arka planın olduğu video resim dizilerindeki insan ve robotların tanımlanması ve takip edilmesidir. Bu amaç için, arka plan çıkarma işlemi, her bir pikseldeki değişme olasılığı hesaplanarak hareket eden nesnelerin tespit edilmesi sağlanmıştır. Olasılık değerleri, hareket eden nesnelerin hangi piksellere ait olduğunu belirlemek için otomatik-sınırlama (auto-thresholding) yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen pikseller, morfolojik kapama (morphological closing) yöntemiyle parçalanmış bölümler birleştirilerek yuvarlak alanlar oluşturularak tamamlanmıştır. Daha sonraki aşamada yuvarlak alanların merkezi ile kapalı piksellerin toplamı hesaplanır. En sonuncu aşamada ise, her bir resimdeki robotların ve insanın çok özel olarak yerlerinin belirlenmesi ve bunların takip edilmesi vardır. Sistem, bir önceki resimdeki insan ve robotların yerlerine göre bir sonraki resimdeki olması gereken yerleri tahmin ederek, ilgili resimdeki elde edilen konum bilgileriyle karşılaştırarak doğru olan yeri tespit etmeye çalışır.

2.2.2. Yüksek seviyeli öğrenme

Bu bölümde insan pozisyon bilgisi için kullanılan Ana Bileşen Tahlili (PCA) yöntemi insan niyet tahmini için kullanılan Saklı Markov Modeli (HMM) anlatılacaktır.

2.2.2.1 İnsan Pozisyonu için Ana Bileşen Tahlili (PCA)

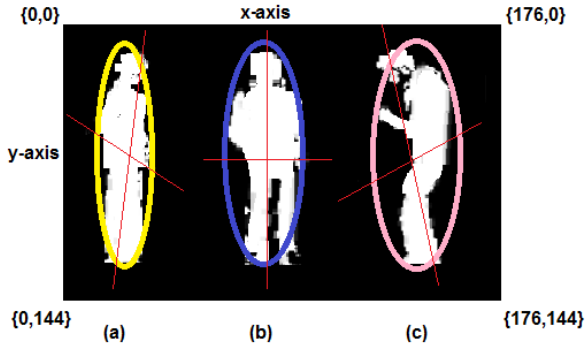
PCA metodu, orijinal yönlerdeki vektörlerin lineer kombinasyonu için yeni tanımlayıcılar oluşturmayla ilgili

popüler özellik haritalama yöntemidir [7]. Geometrik olarak, PCA'nın amacı, ana bileşenler olarak tanımlanan birbirine dik olan eksenleri belirlemektir [6]. Yeni değişkenler, ana bileşenler kullanılarak değiştirilen orijinal değişkenlerden oluşmaktadır. Bu uygulamada, değiştirilen orijinal değişkenler sayesinde insanın pozisyonu, "sol pozisyon", "sağ pozisyon" ve "merkez pozisyon" olarak sınıflandırılabilir. Şekil 3'te örnek bir öğrenme seti ve resim dizisinin koordinat sistemi gösterilmiştir.

İnsan pozisyonunu belirlemeye yönelik algoritma şu şekildedir:

1. Deneme resimlerinin yüklenmesi ve resimlerin ortalama değerlerinin hesaplanarak PCA'ya hazırlanılması,
2. Düşük boyutlu pozisyon uzayının oluşturulması (PCA),
3. Test resimlerinin yüklenmesi ve pozisyon uzayında takip edilmesi,
4. "merkez pozisyon" deneme resimlerinin ortalaması olan nötr resim (Ω_n) ile test resmi (Ω) arasındaki öklit mesafesinin hesaplanması,

$$\varepsilon_m = \|\Omega - \Omega_n\| \quad (1)$$



Şekil 3: Örnek bir öğrenme seti ve resim dizisinin koordinat sistemi (a) "sol pozisyon", (b) "merkez pozisyon", (c) "sağ pozisyon"

2.2.2.2 Niyet tahmini için Saklı Markov Modeli (HMM)

Bizim uygulamamızda gözlenebilen hareketler; "çalışma masasına gitme", "kahve makinasına gitme", "kitaplığa gitme" ve ortamı keşfetme olarak tanımlanabilir. Bir grup resim dizisinden oluşan bu hareketlerin, her birinin insan niyeti olarak adlandırıldığı bir HMM modeli tasarlanmıştır. Bu modeldeki gizli durumlar, insan niyetleridir ve Çizelge 1'de listelenmiştir.

Çizelge 1: Niyet Listesi

Numara	Niyet
1	Kitaplıktan Kitap Almak
2	Çalışma masasında oturmak
3	Kahve Almak
4	Ortamı incelemek

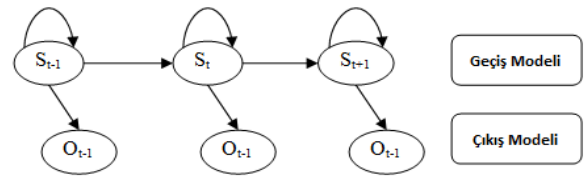
Şekil 4'de, bizim çalışmamızda kullanılan HMM modeli verilmiştir. Bu şekle göre, içinde insan pozisyon ve konum bilgileri olan her bir çıkış modeli (O_t), gözlemlenen insan hareketini gösterir. Geçiş modelinde ise, bir önceki

gözlemlenen hareketten (S_{t-1}) bir sonraki gözlemlenen harekete (S_t) geçiş olasılıkları, şartlı olasılık dağılımı matrisini oluşturmaktadır.

$$P(S_t|S_{t-1}) \in \mathbb{R}^{4 \times 4} \quad (2)$$

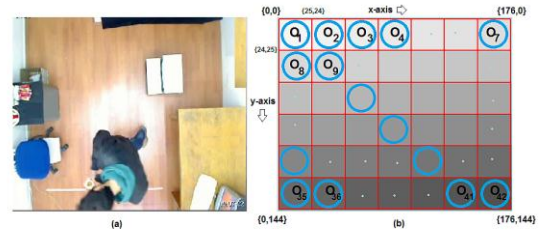
İnsanın hareketi esnasında, elde edilen video görüntülerine göre, niyetin değiştirme olasılığı çok karşılaşılan bir durum olmamıştır. Bir diğer ifadeyle, geçiş matrisindeki köşegen terimlerin 1'e yakinken, diğer terimlerin çok küçük değerlerdedir. Çıkış modelinde, insanın bir niyeti olduğunda gözlemlenen insan hareketinin (O) olasılığı şu şekilde tanımlanabilir:

$$P(O|S) \in \mathbb{R}^{4 \times 9} \quad (3)$$

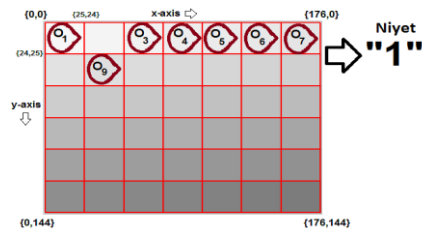


Şekil 4: Saklı Markov Model (HMM).

Uygulamamızdaki insanın pozisyonuna ve konumuna bağlı çıkış modelini şu şekilde oluşturulmuştur: Çıkış modelindeki çıkış terimleri, 144*176'lık resimlerin 24*25'lik hücelere ayrılmasıyla elde edilmiştir. Her bir hücre, insanın pozisyonuna ve konumuna bağlı hareket çıktısını sembolize eder. Şekil 5'de bizim uygulamamızda kullanılan etiketlenmiş çıkış hücreleri gösterilmiştir. Şekil 6'da örnek hareket dizisi ve bu hareket dizisinin ardında olabilecek niyet gösterilmiştir.



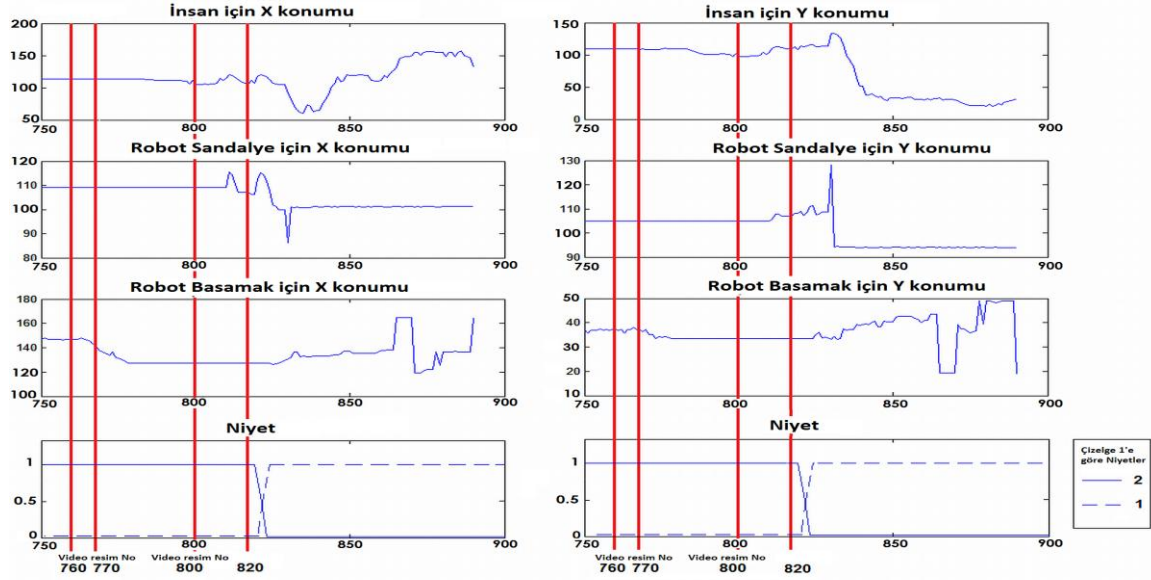
Şekil 5: (a) Normal video resmi (b) Etiketlenmiş çıkış hücreleri



Şekil 6: Örnek hareket dizisinin çıkış hücreleri olarak gösterimi ve çizelge 1'e bu hareket dizisinin niyet olarak karşılığı



Şekil 7(a): Robot hareketinin insan niyetini değiştirdiğini gösteren video resimleri



Şekil 7(b): Robot hareketinin insan niyetini değiştirdiğini gösteren insan ve robotların konumlarını ve niyeti gösteren şekiller

3. Sonuçlar

Şekil 7'de, robotların hareketiyle insan niyetinin değişebildiğinin gösterildiği örnek bir sonuç gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre 760 no'lu resimde, çizelge 1'deki niyet listesine göre insan niyeti, 2 numaralı niyettir. 770 numaralı resimden sonra robot basamak hareket etmeye başlıyor ve katılımcı insanın niyeti ilk olarak aynı kalıyor. Robot hareketini tamamladıktan sonra yani 820 numaralı video resminden sonra, insan niyeti değişerek 1 numaralı niyet olarak tanımlanıyor. Böylece gerçek bir katılımcıyla insan niyetinin, robot hareketiyle değiştirildiği gösterilmiştir. Bu bildiride, insan ve robot etkileşimiyle insan niyetlerinin robot hareketlerine bağlı olarak değiştirilebileceği konusu incelenmiştir. Bizim yaklaşımımız, video görüntüsünden alınan bir dizi resim alarak, elimizde bulunan senaryoya uygun olarak bu resimleri analiz etmektedir. Bir sonraki aşamada yapılacak işlerden bir tanesi sistemin otonomum olarak gerçekleştirilmesidir. Bu çalışmadan sadece niyetlerin tahmin edilmesi konusu incelenmemiş aynı zamanda niyet değişimi konusu da araştırılmıştır. Bu çalışmayla birlikte, insan-robot etkileşimi literatürüne, niyet değiştirme konusu eklenmiştir.

4. Kaynaklar

- [1] Tahboub, K. A., "Intelligent Human-Machine Interaction Based on Dynamic Bayesian Networks Probabilistic

Intention Recognition," *Journal of Intelligent Robotics Systems*, vol. 45, no. 1, pp. 31–52, 2006.

- [2] Bratman, M. *Faces of Intention: Selected Essays on Intention and Agency*, Cambridge University Press, (1999).
- [3] Dennett, D. C. *The Intentional Stance*, MIT Press, (1987).
- [4] Yokoyama, A., Omori, T. "Modeling of human intention estimation process in social interaction scene", *Fuzzy Systems (FUZZ)*, 2010 IEEE International Conference on, (2010).
- [5] Aarno, D. and Kragic, D., Layered HMM for motion intention recognition, in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2006.
- [6] Durdu, A., Erkmen, I., Erkmen, A.M. and Yilmaz, A., *Robotic Hardware and Software Integration for Changing Human Intentions*, Edited by T. Sobh and X. Xiong. IGI Global Publishers. DOI: 10.4018/978-1-4666-0176-5, 2012
- [7] Jolliffe, I. T. *Principal Component Analysis*. Springer-Verlag. pp. 487, (1986).
- [8] S. Koo, D. S. Kwon, Recognizing human intentional actions from the relative movements between human and robot, *Robot and Human Interactive Communication. RO-MAN 2009*, pp. 939-944.