



## İnsan-Robot Etkileşimi Çalışmalarına yönelik İnsanın OctoMap ile Çoklu Çözünürlüklü Modellenmesi

### Multi-resolution Modeling of Human with OctoMap for Human-Robot Interaction Studies

Özlem Örnek <sup>1\*</sup>, Ahmet Yazıcı <sup>2</sup>, Metin Özkan <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, Eskişehir, TÜRKİYE  
Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [ozlem.ornek@ogu.edu.tr](mailto:ozlem.ornek@ogu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 17.12.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 03.08.2022

Atıf şekli / How to cite: ÖRNEK, Ö., YAZICI, A., ÖZKAN, M. (2023). İnsan-Robot Etkileşimi Çalışmalarına yönelik İnsanın OctoMap ile Çoklu Çözünürlüklü Modellenmesi. DEUFMD, 25(74), 303-316.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2023257404

#### Öz

Endüstriyel robotlar, uzun yıllar güvenlik kafesleri içinde çalışırken, günümüzde Endüstri 4.0 ile birlikte kafesler atılmış ve insanlar ile etkileşim içerisinde çalışmaya başlamıştır. Böylece, insan ve robotların birlikte güvenli ve etkin olarak çalışmasını sağlamayı amaçlayan insan-robot etkileşimi (Human-Robot Interaction, HRI) alanında çalışmalar artarak devam etmektedir. Endüstriyel ortamlarda insanlar ve robotlar için birçok farklı HRI türü bulunmaktadır. Bunlardan biri de insan ve robotların birlikte çalışmasıdır. Birlikte çalışmada insan ve robot aynı amaç için çalışmaktadır. Çalışma sırasında insanın fiziksel ve mental güvenliğinin sağlanması önemlidir. Bu çalışmada, amaç insan ve robotların birlikte çalışmaları süresince insanın mental sağlığını korumak üzere robotun yapacağı hareket planlarında kullanacağı insan modellerinin oluşturulmasıdır. Bu modeller oluşturulurken, insanın bazı vücut bölgelerinin diğer bölgelerden daha hassas olarak modellenmesi (yüksek çözünürlüklü) önerilmektedir. İnsanın yüksek çözünürlüklü modellenmesi ile insana güven ve konfor sağlanarak, mental sağlığın ve verimliliğin geliştirilmesi hedeflenmiştir. İnsanı modellemek için, sekizli ağaç (octree) yapısıyla robot uygulamalarında yaygın olarak üç boyutlu (3B) ortam haritasının oluşturulmasında kullanılan, Octomap kütüphanesi kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü modellenecek bölgelerin belirlenmesinde, iskelet takip algoritmaları ile sağlanabilen insan eklem noktaları kullanılmaktadır. Eklem noktaları arasından, ilgilenilen insan bölgesine ait olanlar noktalar seçilmek suretiyle dairesel alanlar oluşturulmuş ve bu alanlar içerisinde kalan insan vücuduna ait bölgeler yüksek, dışında kalan alanlar ise daha düşük çözünürlükle modellenerek insanın çoklu çözünürlüklü modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bir veri seti ile yapılan deneysel çalışma sonuçları sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İnsan-robot etkileşimi, Octomap, İnsan modelleme

#### Abstract

While industrial robots have been working in safety cages for many years, today, with Industry 4.0, the cages have been discarded and started to work in interaction with humans. Thus, studies in the field of human-robot interaction (HRI), which aims to ensure that humans and robots work together safely and effectively, are increasingly continuing. There are many different types of HRIs for humans and robots in industrial environments. One of them is human-robots working together. In working together, human and robot work for the same purpose. It is important to ensure the physical and mental safety of people during work. The aim of this study is to create human models that will be used

by the robot in the action plans to protect the mental health of the human during working together. While creating these models, it is recommended that some body parts of the human be modeled more precisely (high resolution) than other parts. It is aimed to improve mental health and productivity by providing confidence and comfort to people with high-resolution modeling of humans. To model the human, Octomap library, which is commonly used in robot applications to create a three-dimensional (3D) environment map, with its octree structure was used. In determining the regions to be modeled with high resolution, human joint points, which can be provided by skeleton tracking algorithms, are used. Circular areas were created by selecting the points belonging to the human region of interested among the joint points. And multi-resolution modeling of the human was carried out by modeling the regions of the human body within these areas with high resolution and the areas outside of these areas with lower resolution. Experimental results with a data set are presented.

**Keywords:** Human-robot interaction, Octomap, Human modeling

## 1. Giriş

Endüstriyel robotlar, geleneksel olarak, güvenlik gerekçesiyle kafes içerisinde tutulmaktaydı. Ancak, Endüstri 4.0 ile birlikte insan-robot etkileşimi/iş birliği çalışmalarının önemi artmaya başlamış, insan ve robotların birlikte ortak çalışma alanlarını paylaşması, bu alanda insan-robot etkileşimi (Human-Robot Interaction, HRI) çalışmalarını arttırmıştır. HRI'nin bulunduğu alanlardan biri de endüstriyel ortamlarda çeşitli görevleri yerine getiren robotlar ile insanlar arasındadır. Endüstride, endüstriyel robotlar ile insanların etkileşim ve işbirliği düzeyinin sınıflandırılması üzerine farklı tanımlamalar bulunmaktadır [1-2]. Bu tanımlamalardan biri de işbirliği (collaboration) yani insan ve robotların ortak bir amaç için birlikte çalışmasıdır. Endüstride insan ile birlikte ortak bir görevi, paylaşılan çalışma alanı içerisinde gerçekleştiren robotlar "endüstriyel işbirlikçi robotlar" veya "cobot"lar olarak adlandırılmaktadır. İşbirlikçi robotlar kapsamında HRI ikiye ayrılmaktadır: fiziksel İnsan-Robot Etkileşimi (Physical Human-Robot Interaction, pHRI) ve sosyal İnsan-Robot Etkileşimi (Social Human-Robot Interaction, sHRI). pHRI, HRI kapsamında daha çok insanın fiziksel güvenliği ve sağlığının korunması amaçlanırken sHRI de ise insanın ruhsal, duygusal ve mental vb. açıdan güvenliği ve sağlığının korunması amaçlanmaktadır. Bu amaçla çalışma ortamının insanlar üzerindeki psikolojik ve sosyal etkileri üzerine de araştırmalar ve incelemeler yapılmaya başlanmıştır. Çalışmalarda insanların robot ile ortak bir çalışma alanını paylaşması süresince insan üzerinde bulunan cihazlar ile kalp ritmi ölçümü, vücut sıcaklığı ölçümü vb. değerler toplanarak analiz edilmiştir. Çalışmalarda ortak çalışma alanlarında robotların bilinmezliği ve

iletişim vb. eksikliklerinin insanı kötü etkilediği (stres vb.) görülmüştür. Bu nedenle insan-robot birlikte çalışmasının, hem insan için mental açıdan daha verimli olması hem de insan-robot iletişiminin iyileştirilmesi beklenir. Bu kapsamda, HRI'de insanın robot tarafından daha iyi anlaşılması amacıyla duygu tanıma (emotion recognition) gibi insanı betimleyen fiziksel ve mental bilgileri robotun algılaması ve anlayabilmesi önemlidir. Bu algılama ve anlamının sürece adapte edilerek kullanması ile HRI açısından daha verimli sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

Robotların endüstriyel sistemlerde HRI'ye güvenli ve güvenilir katılımlarını sağlamak için güvenlik ve işlevsel doğruluklarının kanıtlanması gerekmektedir. Ek olarak sistemlerin bu alanda oluşturulmuş standartlara da [3] uyması beklenmektedir. Bunları sağlayabilmek için HRI'nin, doğrulanması ve onaylanması (verification and validation, V&V) için tutarlı ve güvenilir yapıların geliştirilmesini gerektirmektedir [4]. İnsanların robotlara güvenmesini sağlamak, robotların kullanımını daha güvenli ve verimli hale getirecektir. Güvenirliliğin V&V ile sağlanması için ise HRI etkileşiminin dijital ortama taşınması ile sağlanabilir. İnsanı anlamak ve algılamak için kullanılan tüm yöntemlerin birleştirilmesi ve bir bütün olarak insanı değerlendirme konusu gelişmelere açıktır. Bu nedenle bu çalışmada temelde, insan-robot ekiplerinin birlikte çalışma süreçlerinde robotun insanı daha hassas algılayabilmesi ve güvenirliliği artırma amacıyla çoklu çözünürlüğüne sahip insan modelinin oluşturulması önerilmektedir.

Bölüm 2'de HRI kapsamında literatür özeti verilmektedir. Bölüm 3'de önerilen yöntem, Bölüm 4'de önerilen yöntemden elde edilen

bulgular verilmektedir. Son olarak, Bölüm 5'te değerlendirme ve sonuçlar verilmektedir.

## 2. Literatür Özeti

HRI problemi "bir veya daha fazla insan ile bir veya daha fazla robot arasındaki etkileşimi anlamak ve şekillendirmek" olarak tanımlanabilir [5-6]. HRI, endüstriyel ortamlarda bulunan robotlar ile insanlar arasında önemli bir yere sahiptir.

Uluslararası Robotik Federasyonu (International Federation of Robotics, IFR) [7] ve Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization, ISO) endüstride robotları endüstriyel ve hizmet (service) robotları olarak ikiye ayırmaktadır [8]. Endüstriyel robot programlanabilen, otomatik kontrol edilen yeniden programlanabilir, hizmet robotu ise endüstride otomasyon uygulamaları dışındaki görevleri gerçekleştiren robot olarak tanımlanmaktadır [8-9]. Endüstride kullanılan hizmet robotlarına örnek mobil robotlar, endüstriyel robotlara örnek olarak ise robot kollar verilebilir [8-9].

Endüstriyel robotların insanlar ile etkileşim ve işbirliği düzeyi [1] çalışmasında üç farklı formda tanımlanmıştır: Bir arada bulunma (coexistence), ortaklaşma (cooperation), işbirliği (collaboration). Bir arada bulunmada, etkileşim ortakları mutlaka aynı amaca sahip değildir. Etkileşim, zaman ve mekan açısından sınırlıdır. Ortaklaşmada, eylemler doğrudan bağlantılı değildir. Açıkça tanımlanmış ve programlanmış bir görev bölümünü izlemez. İşbirliğinde, ortak hedefler ve alt hedefler vardır. Bu hedefler doğrultusunda, insan ve robot arasında etkileşim ve doğrudan işbirliği söz konusudur.

Robot ile insan işbirliği kapsamında HRI'de güvenlik; verimli ve etkin bir çalışma alanı oluşturulabilmesi için önemlidir. Bu nedenle güvenli pHRI kapsamında: güvenlik dereceli izlemeli durdurma (safety-related monitored stop), azaltılmış hız ile el rehberliği (hand guiding), hız ve mesafe izleme (speed and separation monitoring), güç ve kuvvet sınırlaması (power and force limiting) çalışmaları bulunmaktadır. Güç ve kuvvet sınırlaması kapsamında çarpışma algılama için yapılan çalışmalar ise şu şekilde verilebilir:

- Çevreyi anlamak: çevrenin görüntü yoluyla 3B modeli.

- Nesne tespiti (object detection): insan vücudu, varlığı (human presence)
- Hareket tahmini (motion prediction): insan vücudu, varlığının gelecekteki hareketi,
- İnsan hareketi algılama (human gesture detection)
- Güç tespiti (force detection):
  - Sensör tabanlı yöntemler: kuvvet / tork sensörleri ve dokunsal ve dokunsal algılama (tactile and haptic sensing)
  - Sensörsüz yöntemler: Dokunma tespiti (touch detection)
- Çarpışma tespiti
- Kaçınma algoritması (collision avoidance) (hareket planlaması) :
  - yerel algoritmalar (local algorithms)
  - genel algoritmalar (global algorithms)
- Robotu kontrol etmek (control).

Güvenlik sistemleri, bir robotun genel hızını ve bir robotun bir kişiyle etkileşime girebileceği kuvveti sınırlayan ISO15066 güvenlik standardına [3] uyum gerektirmektedir.

sHRI kapsamında yapılan çalışmalara örnek olarak ise: stres azaltılması (robot güzergahının insana gösterilmesi) ve robot niyeti (artırılmış gerçeklik kullanılarak robot ile iletişim sağlanması) verilebilir. Endüstriyel ortamlarda daha güvenli ve verimli HRI, insan ve robot arasında iyi bir iletişim ile sağlanabilir [10]. Bu nedenle robot, akıcı ve güvenli işbirliğini kolaylaştırmak için bir dizi davranışı, sesleri, vücut hareketlerini ve yüzleri yönetebilmelidir [10-11]. Bir çalışmada, iletişim iki kategoriye ayrılmıştır [12]:

- Robottan İnsana (Robot to Human, RtH) İletişim
  - Görsel ve işitsel sinyaller ile ilgili ISO Normları: Görsel Tehlike Sinyalleri (ISO 11428 ve 11429) ve Ergonomi (ISO 7331 2005, Kamu ve çalışma alanları için tehlike sinyalleri, İşitsel tehlike sinyalleri).
- İnsandan Robota (Human to the Robot, HtR)
  - Sesli komutlar
  - Hareket komutları: görsel hareket izleme, vücut

- hareketleri ve el-yönlendirici etkileşim
- Duygu tanıma

Bilişsel insan-robot etkileşimleri kapsamında oluşturulan kategoriler şu şekildedir [10]:

- İnsan eylemlerinin tanınması (Human actions recognition)
- Vücut hareketleri tanıma (Gesture recognition)
- Yüz tanıma (Faces recognition)
- Sesli komut verme (Voice commanding)
- Sosyal bakış ve sosyal kabul (Social gaze and social acceptance)

İnsan eylemlerinin tanınması alanındaki araştırma çalışmaları, insan eylemlerini gözlemlemek için kamera (veya diğer cihazlar) kullanmaya odaklanmıştır. Temel amaç, insan eylemlerini anlayabilen robotlar geliştirmektir [10]. Vücut hareketleri tanıma, artırılmış eldivenler (augmented gloves) veya bilgisayar görüşü yoluyla tespit edilen hareketler, endüstriyel robotları kontrol etmek için kullanılmıştır [10]. Yüz tanıma, genellikle fabrikalarda insanların kobotik (insan ve robotların birlikte ortak bir çalışma alanında çalışmaları) sistemlerde çalışmasına izin verilen insan operatörleri tanımlamak için kullanılmaktadır [10]. Sesli komut verme, insan veya robot ile iletişim kurmak için tercih edilen yöntemlerden biridir [10]. Sosyal bakış ve sosyal kabul kapsamında robotların insanlarla iletişiminde kullanabileceği yüz, ses gibi farklı iletişim türlerinin insan üzerindeki etkileri üzerinedir. Bu kapsamda [13], kobotların başını sallama ve gözlerine bakma gibi daha fazla sosyal ipucu gösterdiklerinde insanların kobotlarla çalışmaya daha istekli oldukları sonucu elde edilmiştir. Endüstriyel işbirliğine dayalı robotik sistemlerde bilişsel HRI kapsamında çalışmalar devam etmektedir. Bir çalışmada insan ve robotların birlikte çalışmaları kapsamında bilişsel HRI için zorluklar ve açık alanlar şu şekilde verilmiştir [10]:

- İnsan Davranışlarının algılanması ve yorumlanması
- İnsan faaliyetlerinin sınıflandırılması
- Ses tanıma, anlama ve doğal dili kullanma
- Çok modlu üst düzey etkileşim
- İnsanlar ve robotlar arasında ikili iletişim

Bozulmuş zihinsel durumlar insan yeteneklerini azaltabilir [14]. Sistemlerin, görevlerini yerine getirmeleri sırasında bu tür bir durumları anlaması ve önlem alması gerekebilir. Bir çalışmada mevcut HRI sistemlerinde operatörün (insan) "mental states" değerlendirilmediğini ve bu eksikliğin tehlikeli durumlara yol açabileceği belirtilmektedir [14]. Bu nedenle insan-robot operasyonlarının güvenliği ve performansını geliştirmek için operatörün "mental states" sistemlere adapte etmek üzerine inceleme yapmaktadır. Operatörlerin zihinsel durumlarının fizyolojik ölçümler kullanılarak derinlemesine değerlendirilmesine ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. İnsan operatöründen gelen verilerle ilgili olarak, elde edilme şekillerine göre şu şekilde sınıflandırılabilir [14]:

- Proksimal davranışsal veriler: fare, klavye, düğmeler, oyun çubuğu vb. aracılığıyla arayüzdeki operatör eylemleri .
- Distal davranışsal veriler: göz izleyici, ses ve video akışları vb. gibi uzak sensörler (pasif operatör) kullanılarak elde edilir .
- Elektroensefalografi (EEG), elektrokardiyografi (EKG), elektrodermal aktivite (EDA), yakın kızılötesi spektroskopi (Near-infrared spectroscopy, NIRS), elektromiyogram (EMG) gibi insan operatör tarafından takılan sensörlerle elde edilen fizyolojik veriler.

İnsan-robot etkileşiminde insan eylemleri ve niyetlerinin anlaşılmasının yanı sıra, robot ile insan ortağı arasındaki işbirliği kalitesi üzerinde etkisi olan insan konforu da robotun insandan haberdar olması için önemli bir faktördür. Örneğin, insan-robot işbirliği görevlerinde, teknik güvenlik (gerekli bir fiziksel mesafeyi korumak veya insan ile robot arasında bir güvenlik kenetleme sistemi geliştirmek) ile algılanan duygular çoğunlukla öznel olduğundan, insan tarafından güvenlik ve rahatlık algılandığı anlamına gelmez [15]. Ek olarak, aynı görevdeki robotun aynı performansı, farklı insanlar için farklı konfor seviyelerine karşılık gelebilir. Örneğin, yavaş bir robot hızı genellikle bazı insanlar için bir insan-robot etkileşiminde kendilerini güvende hissetmelerine sağlarken, bazı insanlar için rahatsız edici olabilir. Bir çalışma HRI'de insan konforu iki grupta incelemiştir [15]:

- robotların insan tarafından kabul görmesini iyileştirmek
- insan-robot etkileşiminde insan konforu

HRI'de insan rahatlığını nelerin etkileyebileceği örnek olarak robot tepki hızı, robot hareket yörüngesi, insan-robot yakınlığı, insan-robot işbirliğinde akıcılık ve robot sosyalliği verilebilir [15]. Bu kapsamda robotların insan tarafından kabul görmesinin iyileştirilmesi ve insan konforunun arttıracak çeşitli önlemler sunmaktadır.

İnsanların zihinsel durumlarını algılama kapsamında yapılan çalışma alanlarından biri de duygu tanımadır. Duygu duyarlı robotlar farklı sistemlerde bu kapsamda kullanılmaktadır. Örneğin, atölyede çalışanların yorgunluğunu algılayabilen ve kazaları önlemek için gerekli önlemleri alabilen endüstriyel robot çalışması bulunmaktadır [16]. HRI, insan duygu analizi, tespiti için birçok yöntem ve özellik kullanılmaktadır. Örnek olarak şu şekilde verilebilir:

- Ses
  - Doğal dil işleme: Konuşma (konuşmayı yazıya çevirme)
- Görüntü
  - Yüz ifadeleri
  - Vücut dili
  - Termal yüz görüntüleri
- Vücut pozları ve Kinematik
  - RGB verileri,
  - Derinlik haritaları
- Beyin aktivitesi
  - Elektroensefalografi (EEG)
- Çevresel fizyolojik tepkiler
  - Kalp hızı,
  - Kan hacmi basıncı (Blood Volume Pulse, BVP),
  - Solunum,
  - Cilt iletkenliği ve
  - Sıcaklık
- Çok modlu yaklaşımlar

Yukarıda verilen pHRI ve sHRI (iletişim, bilişsel HRI ve duygu tanıma vb.) için işbirlikçi robotların hissetme (sensing) ve algılama (perception) gerçekleştirilebilmesi gereklidir. Hissetme donanımsal sensörlerden elde edilecek verileri temsil ederken, algılama sensörlerden elde edilen bu bilgilerden kullanılabilir bilgileri alan yazılımı ifade eder [8]. Bir çalışmada en önemli üç adet algılama yöntemi şu şekilde belirtilmiştir [17]:

- Özellik çıkarımı (feature extraction): Çoğunlukla kullanılan sinyaller:
  - görsel tabanlı (visual-based): kamera
  - ses tabanlı (audio-based): mikrofon
  - dokunsal tabanlı (tactile based): dokunsal sensörler
  - menzil sensörü tabanlı (range sensor based): lazer menzil bulucu
- Özellik çıkarımı yöntemleri:
  - Görsel Tabanlı Yöntemler: İki Boyutlu (2B) ve Üç Boyutlu (3B) Tabanlı
  - Ses tabanlı yöntemler
  - Dokunsal tabanlı yöntemler
  - Menzil sensörü tabanlı yöntemler
  - Multimodal Tabanlı Yöntemler
- Boyut azaltma (dimension reduction)
  - Temel bileşen analizi (Principle Component Analysis, PCA),
  - Doğrusal diskriminant analizi (Linear Discriminant Analysis, LDA),
  - Yerelliği koruma projeksiyonları (Locality Preserving Projections, LPP)
- Anlamsal anlama (semantic understanding)
  - Nesne tanıma (object recognition)
  - Duygu tanıma (emotion recognition)
  - Nesne takibi (object tracking)
  - Nesne bölümlenme (object segmentation)
  - Yüz tespiti (face detection)
  - Konuşmacı yerini belirleme (speaker localization)

Aynı çalışmada, anlamsal anlama için kullanılan sensörlerin kullanımları şu şekilde belirtilmiştir [17]:

- Kamera
  - nesne tespiti/tanıma
  - yüz/göz tespiti/tanıma
  - nesne segmentasyonu
  - insan tespiti
  - insan takibi
  - nesne takibi

- hareket sınıflandırma/tanıma
- yüz ifadesi tanıma
- yüz doğrulama
- konuşmacı takibi
- kafa duruşu tahmini
- yüz algılama ve izleme
- duygu tanıma
- Mikروفon
  - duygu tanıma
  - ses yerelleştirme
  - konuşma tanıma
  - konuşmacı takibi
  - ses sınıflandırması
  - ses tespiti
  - konuşmacı yerelleştirme
- Lazer bilgileri
  - hareket tespiti
  - insan davranış analizi
  - insan takibi
- Dokunsal
  - dokunma sınıflandırma

Yukarıda da bahsedildiği üzere insan sağlığı ve insan güveninin sağlanması için robotların insanlar ile birlikte çalıştıkları ortamı daha hassas algılaması veya belirli alanlara daha fazla önem göstermesi gerekebilir. Bu kapsamda [18]'de, 3B ortamları verimli bir şekilde haritalamak için octree veri yapıları hiyerarşisi kullanarak çoklu çözünürlüklü yaklaşım sunulmuştur. Ortamı, her bir alt haritanın ayrı ayrı güncellendiği ve dönüştürüldüğü, olasılıksal 3B haritaların bir hiyerarşisi olarak modellenmişlerdir. Yaklaşım örnek olarak masaüstü manipülasyon görevleri için bir uygulama ve sensör verilerinden bağımsız olarak hiyerarşik bir harita oluşturulmasında gösterilmiştir. Bu çalışmada da bu yaklaşıma benzer olarak insan güvenliğinin ve insanın robota olan güveninin artırılması için insanın çoklu çözünürlüklü modellenmesi önerilmiştir. Bu amaçla insan vücudunda önemli bölge olarak tanımlanacak alanların yüksek çözünürlük ile modellenmesi kalan alanların ise daha düşük çözünürlükle modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Devam eden bölümde insan için hassas ve normal olarak belirlenecek alanların farklı çözünürlüğüne sahip olduğu insan vücut modellenmesi açıklanmıştır.

### 3. Yöntem

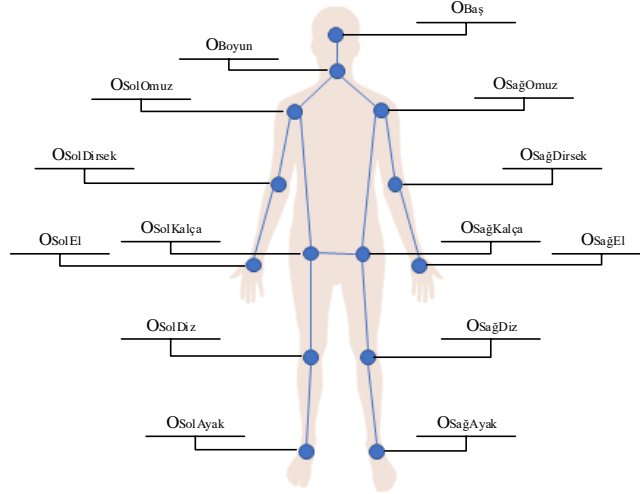
Aynı ortamda ortak bir alanı paylaşarak birlikte çalışan insan-robot ekipleri için insanın fiziksel

güvenliği, zihinsel durum, robota duyduğu güven ve verimlilik için 3B octree ile çoklu çözünürlüklü insan modelleme önerilmektedir. 3B octree ile insan modelleme yapmak için Octomap kullanılmaktadır. Octomap, octree tabanlı bir haritalama yazılım kütüphanesidir. Bir ortamın, 3B ızgaralar ile tanımlı, hacimsel temsilini oluşturur. 3B ızgaraların, olasılıksal doluluk tahminini gerçekleştirir. Buna göre, ızgaralar dolu, bilinmeyen veya boş olarak temsil edilir [19]. Octomap, bir yazılım kütüphanesi olarak robotik çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Açık kaynaklıdır ve C++ tabanlıdır.

İnsanın çoklu çözünürlükte ızgara tabanlı modellemesinde, insan vücuduna ait nokta bulutu verisi kullanılmaktadır. Nokta bulutu,  $P = \{\rho_i | i \in [1, n_p]\}$  ile ifade edilebilir. Burada,  $\rho_i \in \mathbb{R}^3$  nokta bulutunda bulunan 3B noktalar,  $n_p$  ise nokta bulutunda bulunan nokta sayısıdır. Nokta bulutları, derinlik kameraları tarafından sağlanmaktadır. Ayrıca, insan vücudundaki eklem noktalarının koordinatlarına da ihtiyaç vardır. Eklem noktaları  $J = \{O_i | i \in [Baş, Boyun, SağOmuz, SolOmuz, SağDirsek, SolDirsek, SağKalça, SolKalça, SağEl, SolEl, SağDiz, SolDiz, SağAyak, SolAyak]\}$  ifadesi ile temsil edilebilir (Bknz. Şekil 1). Burada,  $O_i \in \mathbb{R}^3$  insan vücutunda tanımlanan eklem noktalarını temsil etmektedir. Derinlik kameralarından sağlanan nokta bulutu kullanarak insan eklem noktalarının koordinatlarını hesaplayan yazılımlar bulunmaktadır [20-21]. Böylece, geliştirilen yöntemde girdi veri seti olarak,  $\mathcal{D} = \{P, J\}$  kullanılmaktadır. Endüstriyel robotlarla insanların birlikte çalışmasında özellikle kollar önem arz etmektedir. Robotun insan kollarına çarpmadan çalışması beklenir. Bundan dolayı, özellikle kolların yüksek çözünürlükte modeli, robotun hareketi esnasında güvenli olarak sakınmasına imkan sağlayacaktır. İnsan modelinde, belli bölgeleri yüksek çözünürlüklü yapmak için, o bölgelerin merkezlerinde bulunan eklem noktaları seçilir. Seçilen eklem noktaları merkezde olacak şekilde her eklem noktası için belirlenen yarıçapa göre küreler oluşturulur. Oluşturulan küreler içerisinde kalan ızgaraların çözünürlüğü artırılır. Önerilen yöntemin algoritması Algoritma 1'de verilmektedir. Algoritmaya göre, yüksek  $\mathcal{M}_H$  ve düşük  $\mathcal{M}_L$  çözünürlüklü olmak üzere, öncelikle iki harita yaratılmaktadır. Nokta bulutundaki noktalardan, yüksek çözünürlüklü olması istenen bölgedekileri, düğümleri oluşturmak üzere yüksek çözünürlüklü haritaya, diğer

noktaları ise, düşük çözünürlüklü haritaya eklenmektedir. Bir sonraki adımda, düşük çözünürlüklü haritadaki düğümler, yüksek çözünürlüklü haritada aranmaktadır. Bulunursa, olasılık değeri güncellenmekte, bulunmuyorsa

düğüm yaratıldıktan sonra olasılık değeri atanmaktadır. Nihai harita  $\mathcal{M}_M$ , ilgililenen bölgeleri yüksek çözünürlüklü, diğer bölgeleri düşük çözünürlüklü olarak bulundurmaktadır.



Şekil 1. Yöntemde kullanılan insanın eklem noktaları

Figure 1. Joint points of the human used in the method

Devam eden bölümde uygulamada kullanılan veri kümesi bilgileri ve elde edilen sonuçlardan örnekler verilmektedir.

#### 4. Bulgular

Önerilen yöntem, Octomap kullanılarak 3B octree tabanlı çoklu çözünürlüklü insan modellemenin uygulaması için Katalonya Politeknik Üniversitesi BARSELONATEK, Sinyal Teorisi ve Haberleşme Bölümü, Görüntü İşleme Grubu web sitesinde yayınlanmış farklı karmaşıklıkta 10 farklı sabit vücut pozunu içeren "Body pose" insan vücut verisi veri kümesi kullanılmıştır [22]. Veri seti kinect kamera kullanılarak kayıt edilen kare ve derinlik bilgilerini içermektedir. Ek olarak kareler için eklemli bir vücut modeli verilmektedir. Yani, veri seti  $D=\{P,J\}$  sağlamaktadır. Her vücut eklem koordinatı, "pcd" uzantılı dosyada bir nokta olarak bulunmaktadır. Eklem etiket sırası şu şekildedir: Boyun, Baş, Sağ omuz, Sağ dirsek, Sağ el, Sol omuz, Sol dirsek, Sol el, Sağ diz, Sağ kalça, Sağ ayak, Sol diz, Sol kalça, Sol ayak. Şekil 2'de, veri setinde verilen 10 farklı sabit vücut pozunu ve eklemli modele ait bir temsil verilmiştir. Şekil 2'de verilen ilk hareket sırası temel, alt sıra gelişmiş vücut hareketlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 2. Eklemli iskelet ile veri seti vücut hareketleri [22]

Figure 2. Dataset body movements with skeleton [22]

**Algoritma 1.** Çok çözünürlüklü insan modeli**Algorithm 1.** Multi-resolution human model

---

**Girdi:**  $\mathcal{D}, R_L, R_H, r$  :  $R_L \in \mathbb{R}$  ve  $R_H \in \mathbb{R}$ , sırasıyla düşük ve yüksek çözünürlük değerleridir,  $r \in \mathbb{R}$  yüksek çözünürlüklü bölgeyi tanımlayan küre yarıçapı,  $J_i \subset J$ , yüksek çözünürlük oluşturulacak bölgelerdeki eklemelerini içeren küme

**Çıktı:**  $\mathcal{M}_M$  :  $\mathcal{M}_M$ , çoklu çözünürlüklü harita (octree tabanlı veri yapısı)

$\mathcal{M}_L \leftarrow \mathcal{M}(R_L)$  :  $\mathcal{M}_L$ , düşük çözünürlüklü harita

$\mathcal{M}_H \leftarrow \mathcal{M}(R_H)$  :  $\mathcal{M}_H$ , yüksek çözünürlüklü harita

**for**  $\forall i \in [1, n_p]$  **do**

**for**  $\forall j \in J_i$  **do**

**if**  $\|\rho_i - O_j\| \leq r$  **then**

$\mathcal{M}_H.$  updateNode( $\rho_i$ ) : Verilen koordinatı kapsayan düğüm ekleme

**endif**

**if**  $\|\rho_i - O_j\| > r$  **then**

$\mathcal{M}_L.$  updateNode( $\rho_i$ ) : Verilen koordinatı kapsayan düğüm ekleme

**endif**

**endfor**

**endfor**

**for**  $\forall \mathcal{M}_L.$  leaf **do**

**if**  $\mathcal{M}_H \supset \mathcal{M}_L.$  leaf.coordinate **then**

$\mathcal{M}_H.$  updateNode( $\mathcal{M}_L.$  leaf.coordinate,  $\mathcal{M}_L.$  leaf.probality) : Düğümün doluluk olasılığının güncelenmesi

**else**

node  $\leftarrow \mathcal{M}_H.$  updateNode( $\mathcal{M}_L.$  leaf.coordinate) : Verilen koordinatı kapsayan düğüm ekleme

node.probality  $\leftarrow \mathcal{M}_L.$  leaf.probality : Düğüm doluluk olasılık değerinin atanması

**endif**

**endfor**

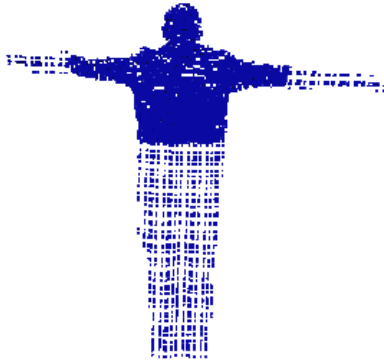
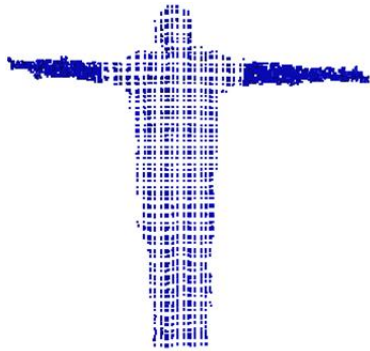
$\mathcal{M}_M \leftarrow \mathcal{M}_H$

“Body pose” veri kümesinde insan vücut pozlarına ait bilgiler “pcd” formatındadır. Bu format içerisinde nokta bulutu verisi yani insan vücut pozunu tanımlayan koordinat bilgilerini içerir. Vücut pozuna ait koordinat bilgileri ve eklem noktalarına ait bilgiler Octomap kütüphanelerini içeren C++ programlama dilinde yazılan program ile okunur. İnsan vücudu modelinin oluşturulmasında hassas olarak modellenecek küresel bölgelerin merkezleri olarak “Body pose” veri kümesinden

10 farklı vücut pozunu ile bu pozlara ait eklem noktalarından ilk test için “sağ dirsek” ve “sol dirsek” için koordinat bilgileri kullanılmıştır. Bu,  $J_i = \{O_{SağDirsek}, O_{SolDirsek}\}$  olarak belirtilebilir. İkinci testte ise “baş” için koordinat bilgileri kullanılmıştır. Bu,  $J_i = \{O_{Baş}\}$  olarak belirtilebilir. Her iki test için de seçilen eklem noktaları merkez olmak üzere küresel alanların yarıçapı  $r = 0.5m$  olarak belirlenmiştir. Çözünürlükler,  $R_L = 0.02$ ,  $R_H = 0.01$  olarak kullanılmıştır. İki farklı test için 10 farklı vücut



pozu ve her poz için elde edilen haritalar Octovis aracında görüntülenmiş sonuçlar, Şekil 3- 12'de verilmektedir.



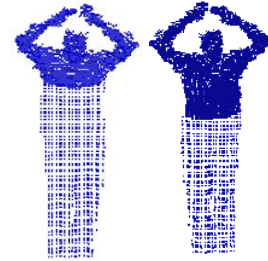
**Şekil 3.** İnsan vücut pozu ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (orta) Test 1 haritası, (alt) Test 2 haritası

**Figure 3.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (middle) Test 1 map, (bottom) Test 2 map



**Şekil 4.** İnsan vücut pozu ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (alt-sol) Test 1 haritası, (alt-sağ) Test 2 haritası

**Figure 4.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (bottom-left) Test 1 map, (bottom-right) Test 2 map



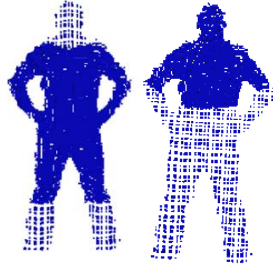
**Şekil 5.** İnsan vücut pozu ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (alt-sol) Test 1 haritası, (alt-sağ) Test 2 haritası

**Figure 5.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (bottom-left) Test 1 map, (bottom-right) Test 2 map



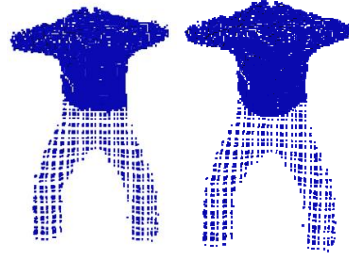
**Şekil 6.** İnsan vücut pozunu ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (alt-sol) Test 1 haritası, (alt-sağ) Test 2 haritası

**Figure 6.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (bottom-left) Test 1 map, (bottom-right) Test 2 map



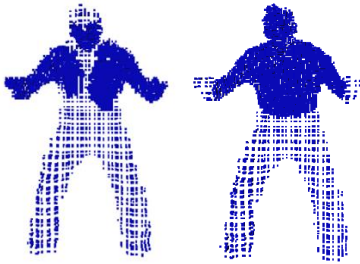
**Şekil 7.** İnsan vücut pozü ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (alt-sol) Test 1 haritası, (alt-sağ) Test 2 haritası

**Figure 7.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (bottom-left) Test 1 map, (bottom-right) Test 2 map



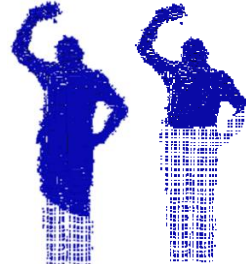
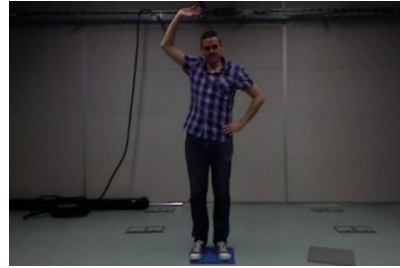
**Şekil 9.** İnsan vücut pozü ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (alt-sol) Test 1 haritası, (alt-sağ) Test 2 haritası

**Figure 9.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (bottom-left) Test 1 map, (bottom-right) Test 2 map



**Şekil 8.** İnsan vücut pozü ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (alt-sol) Test 1 haritası, (alt-sağ) Test 2 haritası

**Figure 8.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (bottom-left) Test 1 map, (bottom-right) Test 2 map



**Şekil 10.** İnsan vücut pozü ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (alt-sol) Test 1 haritası, (alt-sağ) Test 2 haritası

**Figure 10.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (bottom-left) Test 1 map, (bottom-right) Test 2 map



**Şekil 11.** İnsan vücut pozü ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (orta) Test 1 haritası, (alt) Test 2 haritası

**Figure 11.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (middle) Test 1 map, (bottom) Test 2 map



**Şekil 12.** İnsan vücut pozü ve haritası: (üst) İnsan poz resmi, (alt-sol) Test 1 haritası, (alt-sağ) Test 2 haritası

**Figure 12.** Human body pose and map: (top) Human pose image, (bottom-left) Test 1 map, (bottom-right) Test 2 map

Test 1 sonucunda elde edilen sonuçlara göre Şekil 5, Şekil 7-10 ve Şekil 12'de, Şekil 3-4, Şekil 6 ve Şekil 11'den farklı olarak sadece kol bölgesi değil, vücutta ait bazı bölümlerde yüksek çözünürlüklü olarak modellenmiştir. Bunun nedeni seçilen sağ ve sol dirsek eklemlerinin vücudun o bölümlerine yakınlaşmış olmasıdır. Bunun sonucunda bu vücut bölümlerinin, yüksek çözünürlüklü alanın tespitinde sağ ve sol dirsek eklemlerinin merkez olacak şekilde oluşturulan küresel alan içerisine dahil olmaları nedeniyle yüksek çözünürlüklü olarak modellenmişlerdir. Test 2 sonucunda elde edilen sonuçlarda da buna benzer şekilde seçilen baş eklemlerinin merkez olacak şekilde dairesel alan oluşturulduğu için kapsama alanına giren bölgeler de yüksek çözünürlüklü olarak modellenmiştir. Alan kapsamına giren bölümlerin insan vücut pozunun seçili eklemlerine göre bulunduğunu konuma göre gösterdiği değişiklik

gözlemlenmiştir. Ancak, bu bir hata olarak değerlendirilmemektedir. Aksine, çoklu çözünürlüklü modelin kullanım amacına uygundur. Örnek olarak insan-robot etkileşiminde robot kol, hareketlerini insan kollarına göre planlayabilir. Bu durumda, kolların yaklaştığı engeller de robot hareket planlamasında dikkate alınması gerekecektir. Bu bölgelerinde, yüksek çözünürlükte olması beklenir. Bu nedenle insan eklem noktalarından belirlenen hassas noktaların insan hareketi süresince konum değiştirmesi durumunda yaklaştığı alanlarında hassas kabul edilmesi ile güvenli algılama sağlanabilir. Çoklu çözünürlüğün bir amacı da işlem yükünü azaltmaktır. Yüksek çözünürlük düşük çözünürlüğü göre sistemde daha fazla işlem yüküne neden olmaktadır. Bundan dolayı, tüm vücudu yüksek çözünürlüklü haritalamadan kaynaklanacak işlem yükü, sadece robot ile etkileşimde güvenlik için gereken insan bölgelerinin yüksek çözünürlüklü haritalaması ile azaltılabilecektir.

### 5. Tartışma ve Sonuç

Octomap literatürde yaygın olarak robotlar için konumlandırma ve navigasyon sağlamak amacıyla ortam haritasını oluşturmak için kullanılmaktadır. Ancak, bu çalışmada insan modelleme için kullanılmıştır. Octomap ile insan modellemeye yönelik çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. İnsan-robot birlikte çalışma ortamlarında insan için belirlenecek farklı özel alanların daha hassas haritalaması oluşturulabilir.

Robotun insanı anlayabilmesi, insan-robot arasında bir ekip birliğinin kurulabilmesi fiziksel güvenlik, zihinsel durum ve iş verimliliği için önemlidir. Bu kapsamda robotun insana daha fazla güven sağlayabilmesi için Octomap ile insan modelleme deneysel çalışması yapılmıştır. İnsan vücudu nokta bulutu verileri Octomap'e aktarılmış, insan için hassas olabilecek vücut bölgeleri diğer alanlardan farklı çözünürlükte aynı harita üzerinde gösterilmiştir. Robotun belirlenen alanlar için daha hassas davranması ile insana yönelik fiziksel güvenlik, zihinsel durum, güven ve verimliliğin artırılması hedeflenmiştir. Gelecek çalışmalarda insan-robot etkileşiminde önemli yere sahip duyu bileşenlerinde Octomap ile gösterilmesi, modellenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, derinlik kamerası ile sağlanan nokta bulutları ve iskelet takip yazılımının sağladığı eklem pozisyonlarının kullanımı ile yöntemin çevrimiçi

uygulanması da yapılacaktır. Bu şekilde, farklı koşullarda (insan kıyavetleri, farklı insan fiziksel özellikler, ortam ışık koşulları, vb.), yöntemin sonuçları analiz edilecektir. Yöntem, insan ve robot arasındaki uzaklık hesaplamalarına entegre edilerek, diğer modelleme yaklaşımlarına göre katkıları değerlendirilecektir.

### 6. Discussion and Conclusion

Octomap is widely used in the literature to create an environment map to provide positioning and navigation for robots. However, it was used for human modeling in this study. Studies on human modeling with Octomap have not been found in the literature. In human-robot co-working environments, more precise mapping of different special areas to be determined for humans can be created.

It is important for the robot to understand the human and to establish a team unity between the human and the robot for physical safety, mental state and work efficiency. In this context, human modeling experimental work was carried out with Octomap in order for the robot to provide more confidence to the human. Human body point cloud data has been transferred to Octomap, and body parts that may be sensitive to humans are shown on the same map with different resolutions than other areas. It is aimed to increase the physical safety, mental state, confidence and productivity for human by making the robot behave more sensitively for the determined areas. In future studies, it is aimed to show and model the emotion components that have an important place in human-robot interaction with Octomap. In addition, online application of the method will be made by using point clouds provided by the depth camera and joint positions provided by the skeleton tracking software. In this way, the results of the method will be analyzed in different conditions (human clothes, different human physical characteristics, ambient light conditions, etc.). The method will be integrated into distance calculations between human and robot, and its contributions will be evaluated compared to other modeling approaches.

### 7. Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 120N800 nolu "Otomatik Sistemlerin Emniyet Ve Güvenliğinin Doğrulanması ve Geçerlenmesi" projesi tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

- [1] Buxbaum, H., Kleutges, M., Sen, S. 2018. Full-scope simulation of human-robot interaction in manufacturing systems. IEEE Winter Simulation Conference (WSC), 9-12 Aralık, Göteborg, İsveç, 3299-3307.
- [2] Onnasch, L., Roesler, E. 2021. A Taxonomy to Structure and Analyze Human-Robot Interaction, International Journal of Social Robotics, Cilt. 13, s. 833-849. DOI: 10.1007/s12369-020-00666-5.
- [3] ISO. (2016). ISO 15066: 2016 (en) Robots and robotic devices-Collaborative Robots. Tech. rep. International Organization for Standardization.
- [4] Webster, M., Western, D., Araiza-Illan, D., Dixon, C., Eder, K., Fisher, M., & Pipe, A. G. (2020). A corroborative approach to verification and validation of human-robot teams. The International Journal of Robotics Research, Cilt. 39, s. 73-99. DOI: 10.1177/0278364919883338.
- [5] Goodrich, M. A., & Schultz, A. C. (2007). Human-Robot Interaction: A Survey. Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, Cilt. 1, s. 203-275. DOI: 10.1561/1100000005.
- [6] Tellaache, A., Mautua, I., & Ibarguren, A. (2015). Human robot interaction in industrial robotics. Examples from research centers to industry. IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 8-11 Eylül, Lüksemburg, 1-6.
- [7] IFR. (2019). World Robotics 2019. Tech. rep. International Federation of Robotics.
- [8] Sanneman, L.M., Fourie, C.K., & Shah, J.A. (2020). The State of Industrial Robotics: Emerging Technologies, Challenges, and Key Research Directions. ArXiv, Cilt. abs/2010.14537. DOI: 10.1561/23000000065.
- [9] ISO. (2012). ISO 8373: 2012 (en) Robots and robotic devices-Vocabulary. Tech. rep. International Organization for Standardization.
- [10] Hentout, A., Auouache, M., Maoudj, A., & Akli, I. (2019). Human-robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008-2017. Advanced Robotics, Cilt. 33(15-16), s. 764-799. DOI: 10.1080/01691864.2019.1636714.
- [11] Coupeté, E., Moutarde, F., & Manitsaris, S. (2016). A user-adaptive gesture recognition system applied to human-robot collaboration in factories. The 3rd International Symposium on Movement and Computing, 5-6 Temmuz, Selanik, Yunanistan, 1-7.
- [12] Barattini, P., Morand, C., & Robertson, N. M. (2012). A proposed gesture set for the control of industrial collaborative robots. IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 9-13 Eylül, Paris, Fransa, 132-137.
- [13] El Makrini, I., Merckaert, K., Lefeber, D., & Vanderborght, B. (2017). Design of a collaborative architecture for human-robot assembly tasks. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 24-28 Eylül, Vancouver, BC, Kanada, 1624-1629.
- [14] Roy, R. N., Drougard, N., Gateau, T., Dehais, F., & Chanel, C. P. (2020). How Can Physiological Computing Benefit Human-Robot Interaction?. Robotics, Cilt. 9(4), s. 100. DOI: 10.3390/robotics9040100.
- [15] Wang, W., Chen, Y., Li, R., & Jia, Y. (2019). Learning and comfort in human-robot interaction: A review. Applied Sciences, Cilt. 9(23), s. 5152, 2019. DOI: 10.3390/app9235152.
- [16] Rani, P., & Sarkar, N. (2004). Emotion-sensitive robots-a new paradigm for human-robot interaction. 4th IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robots, 10-12 Kasım, Santa Monica, CA, ABD, 149-167.
- [17] Yan, H., Ang, M. H., & Poo, A. N. (2014). A survey on perception methods for human-robot interaction in social robots. International Journal of Social Robotics, Cilt. 6(1), s. 85-119. DOI: 10.1007/s12369-013-0199-6.
- [18] Wurm, K. M., Hennes, D., Holz, D., Rusu, R. B., Stachniss, C., Konolige, K., & Burgard, W. (2011). Hierarchies of octrees for efficient 3d mapping. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 25-30 Eylül, San Francisco, CA, ABD, 4249-4255.
- [19] Hornung, A., Wurm, K. M., Bennewitz, M., Stachniss, C., & Burgard, W. (2013). OctoMap: An efficient probabilistic 3D mapping framework based on octrees. Autonomous robots, Cilt. 34(3), s. 189-206. DOI: 10.1007/s10514-012-9321-0.
- [20] NuiTrack. (2021) 3D BODY (SKELETAL) TRACKING MIDDLEWARE. <https://nuitrack.com/>. (Erişim Tarihi: 17.11.2021.)
- [21] Cubemos. (2021). Skeleton Tracking SDK. <https://www.cubemos.com/skeleton-tracking-sdk>. (Erişim Tarihi: 17.11.2021.)
- [22] Katalonya Politeknik Üniversitesi BARSELONATEK Sinyal Teorisi ve Haberleşme Bölümü Görüntü İşleme Grubu. (2015). Body pose dataset. <https://imatge.upc.edu/web/resources/body-pose-dataset>. (Erişim Tarihi: 17.11.2021.)
- [23] Nikolakis, N., Maratos, V., & Makris, S. (2019). A cyber physical system (CPS) approach for safe human-robot collaboration in a shared workplace. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Cilt. 56, s. 233-243. DOI: 10.1016/j.rcim.2018.10.003.