

Yansıtma Tabanlı Artırılmış Gerçeklik Destekli Uyarı ve Bilgilendirme Sistemi Geliştirilmesi

Serhat Demirtaş

Makina Mühendisliği Bölümü

Boğaziçi Üniversitesi

İstanbul, Türkiye

Email: serhat.demirtas@boun.edu.tr

Tolga Cankurt

Ar-Ge Birimi

Hidropar Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi A.Ş.

Kocaeli, Türkiye

Email: toлга.cankurt@hktm.com.tr

Evren Samur

Makina Mühendisliği Bölümü

Boğaziçi Üniversitesi

İstanbul, Türkiye

Email: evren.samur@boun.edu.tr

Özetçe —Endüstriyel alanda robot kullanımının artması, insanların robotlar ile işbirliği içinde çalışması gerekliliğini doğurmuştur. Endüstride kullanılan birçok robot bu işbirliğine uygun özellikler barındırmamaktadır. Günümüzde, endüstriyel robot hücrelerinde güvenlik, robotun etrafına örülen fiziksel bariyerler, robotun çalışma alanına yapılan herhangi bir ihlali algılayan sensörler ve robotu ani bir şekilde durduran kontrol algoritmalarıyla sağlanmaktadır. Ancak bu durum, endüstri 4.0'ın en önemli faktörlerinden olan insan-robot işbirliğine engel teşkil etmektedir. Bu bildiriye, operatörlerin robotlar ile yakın mesafede çalışabilmesine olanak sağlayacak bir robot hücresi için artırılmış gerçeklik destekli bir uyarı ve bilgilendirme sistemi anlatılmıştır. İlk olarak, üretim sahalarında insan-robot işbirliğine olanak sağlayacak özellikleri barındıran konsept bir hücre tasarımı paylaşılmıştır. Daha sonra, bu hücre tasarımına entegre etmek amacıyla geliştirilen yansıtma tabanlı artırılmış gerçeklik sistemi için gerçek zamanlı bir görsel sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler—İnsan-Robot Etkileşimi, İnsan-Robot İşbirliği, Artırılmış Gerçeklik.

I. GİRİŞ

Günümüzde birçok farklı alanda kullanılmakta olan robotik donanımların ve yazılımların sayısı giderek artmaktadır. Robot uygulamalarının en çok kullanıldığı alanların başında endüstriyel üretim sahaları gelmektedir. Endüstride kullanılan robotlar uzanma mesafesi ve hareket edebildikleri eksen sayısı gibi ayırt edici özelliklere sahiptir ve kaynak, paketleme ve malzeme taşınması gibi birçok farklı alt görevde kullanılmaktadır. Endüstriyel robotların bu görevleri gerçekleştirirken gösterdikleri hassasiyetin ve doğruluğun yüksek olması, sürekli bir biçimde uzun süre çalışabilmeleri ve insanlar için tehlike içerebilecek görevlerde de kullanılabilmeleri nedeniyle üretimde robotlar giderek daha çok tercih edilmektedir. Endüstriyel robot kullanımının artışı en büyük paya sahip olan sektörler metal ve elektrik/elektronik sanayileridir [1].

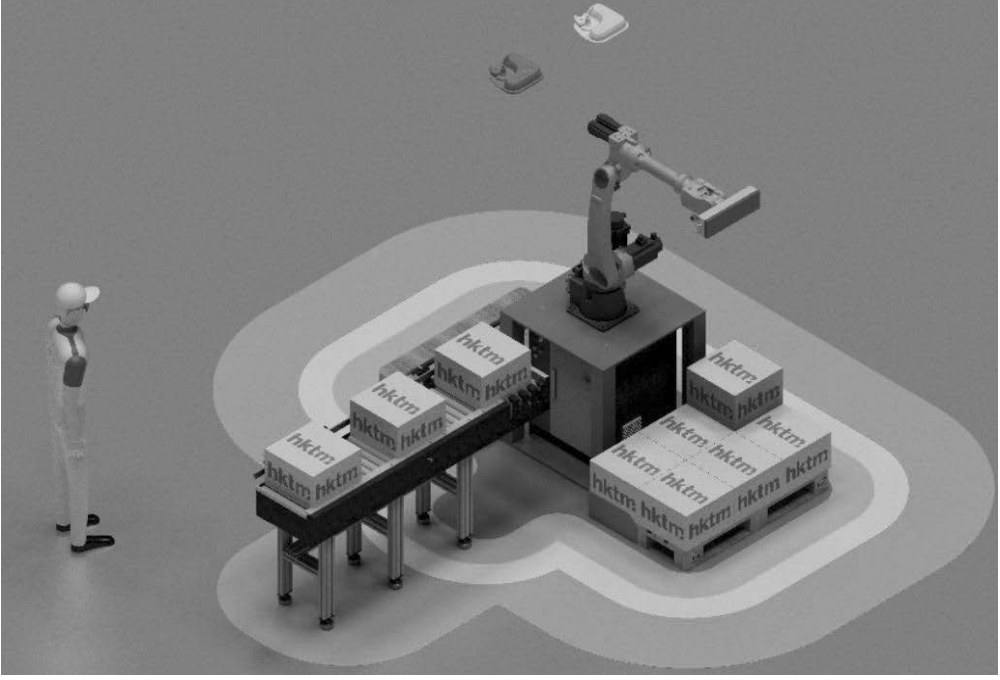
Endüstriyel robotların sağladığı avantajlar ve yakın zamandaki teknik ilerlemeler nedeniyle fabrikalarda otonom sistemler yaygınlaşsa da, robotik uygulamalar içeren üretim sahalarında hala insanlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Robotların geniş bir alanda hızlı ve güçlü hareketlerde bulunması, bu robotlarla aynı ortamda çalışan insanlar için tehlike oluşturmaktadır. Gerçekleşebilecek herhangi bir iş kazasının insan sağlığı açısından ciddi sonuçları olabilir. Bu yüzden, endüstriyel robotların üretim sahalarına entegre edilmesi sırasında insan güvenliği en çok önem verilen konulardan

birisidir. Bu güvenliği sağlamak için en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesi robotun çalışma alanının çevresine insanların girişini engelleyecek fiziksel bir güvenlik bariyeri kurmaktır. Sınırları bu bölgenin bir kişi tarafından ihlal edilmesinde durumunda ilgili algılayıcılardan bilgi alan robot, hareketini anında keser ve bu şekilde muhtemel kazaların önüne geçilmiş olur [2].

Çalışma halindeki robotun çevresine güvenlik bariyerleri kurmak her ne kadar yeterli güvenliği sağlasa da, bu fiziksel bariyerler insan-robot etkileşimi ve işbirliğini kısıtlayıcı bir etkiye sahiptir. Bu etkileşim ve işbirliğinin geleceğin üretim sistemlerinde büyük rol oynayacağı göz önüne alınırsa, işbirliğini artıracak yeni güvenlik önlemlerinin geliştirilmesinin zorunlu hale geldiği görülmektedir. Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ing. International Organization for Standardization, ISO) tarafından 2011 yılında çıkarılan ISO 10218 standartları endüstriyel robot içeren sistemlerde meydana gelebilecek temel risk ve tehlikeleri tanımlamaktadır ve bu tehlikeli durumların oluşmasının azaltılması için endüstriyel robotların kurulumu ve kullanımı esnasında dikkat edilmesi gereken güvenlik gereksinimlerini içermektedir. Teknolojik gelişmelerle, insan-robot etkileşiminin artması sonucunda 2016 yılında 10218 standartlarına ek olarak 15066 standartları yayımlanmıştır [3]. İnsan-robot etkileşimi içeren çalışmalar bu standartlar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir. Bu standartlar belli gereklilikleri ortaya koysa da güvenliği kesin olarak sağlayacak çözümler sunmamaktadır.

Herhangi bir fiziksel bariyer olmadan insanlarla işbirliği içinde çalışabilen robot sistemlerinin bir örneği işbirliği (kolaboratif) robotlarıdır (ing. cobot). İşbirliği robotları, işbirliği özelliklerini sahip oldukları kuvvet ve tork sensörleri sayesinde herhangi bir olağandışı teması veya darbeyi algılama ve bu veriyeye göre hareket planını değiştirme veya hareketi tamamen durdurma özelliklerinden almaktadır [4]. Günümüzde birçok farklı firma kendi işbirliği robotlarını geliştirmiş olsa da, hala birçok firma insanlarla işbirliği içinde çalışma özelliğine sahip olmayan endüstriyel robotları üretmeye devam etmektedir ve bu robotlar üretim sahalarında kullanılmaktadır.

Geleneksel endüstriyel robotların bulunduğu çalışma ortamlarını robotla yakın mesafede çalışan insanlar için de uyumlu hale getirmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak robotların donanımlarında veya yazılımlarında yapılan değişiklikler söz konusudur [5]–[7]. Güvenlik çalışmalarının yanı sıra, literatürde robot ve insan arasında işbirliğini güçlendirmek amacıyla yapılan çalışmalar



Şekil 1: Konsept hücre tasarımı.

da mevcuttur. Bu amaçla, Petersen et. al. artırılmış gerçeklik metodunu robotun izleyeceği yörüngeyi planlamada yardımcı bir özellik olarak kullanmışlardır [8]. Artırılmış gerçeklik (ing. Augmented Reality, AR) kavramı, bilgisayarda üretilmiş sanal verilerin gerçek dünyadaki bir ortamla birleştirilmesini ifade eder [9]. Yani bir artırılmış gerçeklik sistemi gerçek ve sanal nesnelere gerçek dünyada bir araya getirir [10]. Artırılmış gerçeklik endüstride dizayn, montaj, bakım ve onarım gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Örneğin; artırılmış gerçeklik, kağıt veya elektronik ekipman üzerinde olan montaj verisinin gerçek zamanlı yönergelerle dönüştürülüp görsel hale getirilmesini sağlayarak montaj işlemi sırasında harcanan zamanı ve oluşan hataları ciddi şekilde azaltabilir [11] veya sağladığı "X-ray görüşü" sayesinde bakım personelinin dikkatini makinede problemin yaşandığı bölgeye çekerek karmaşık makinelerin bakım işlemini kolaylaştırabilir [12]. Artırılmış gerçeklik tiplerini şu şekilde sınıflandırmak mümkündür [13]:

- 1) Konum Tabanlı AG Sistemleri
- 2) Görüntü Tabanlı AG Sistemleri
 - a) İşaretçi Tabanlı AG Sistemleri
 - b) İşaretçi Tabanlı Olmayan Sistemler (Nesne Hareketi veya Yansıtma Tabanlı AG)

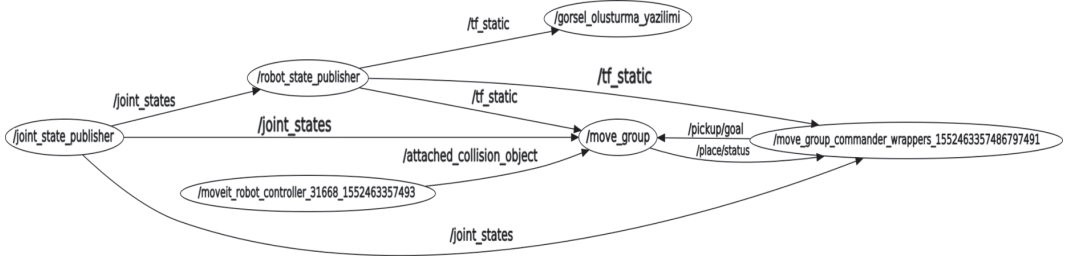
Bu çalışmada, üretim sektöründe yaygın olarak kullanılan geleneksel endüstriyel robotları barındıran ve işbirliği özelliklerine sahip bir robot hücresine uygulanması plan-

lanan bir görsel sistem sunulmuştur. Bu sistemin uygulanması ile robotun çalışma bölgesinde zeminin robota yakın mesafede iş yapan insanlar için görsel bir alana çevrilmesi amaçlanmaktadır. Robotun yörüngesine ve anlık pozisyonuna bağlı olarak oluşturulacak görsel alanın dinamik olarak değişmesiyle robotların çalıştığı bölgede güvenliği artırmak ve bu sayede endüstride insan-robot işbirliğinin gelişmesine katkıda bulunmak hedeflenmektedir. Bildirinin ikinci bölümünde, bahsedilen sistemin uygulandığı konsept bir hücre tasarımı paylaşılmaktadır. Bölüm III'te dinamik görsel yaratılırken yararlanılan algoritmalar ve son yazılımın oluşturulması, sistemin çalışma prensibi ve geliştirildiği yazılım ortamları anlatılmaktadır. Bölüm IV'te ise bildiride bahsedilen çalışmanın sonuçlarından ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalardan bahsedilmektedir.

II. HÜCRE TASARIMI

Endüstride gün geçtikçe yaygınlaşan robotik uygulamalarda insan-robot işbirliğinin artırılması amacıyla yenilikçi bir hücre tasarımı fikri geliştirilmesi gerekmektedir. Robot hücrelerine eklenecek özelliklerle robotların etrafına çekilen çitlerin kaldırılıp insanların ve endüstriyel robotların işbirliği içerisinde çalışabilmeleri hedeflenmektedir.

Örnek olarak, konsept bir hücre tasarımı Şekil 1'de görülmektedir. Görselde belirtilen hücre tasarımına uygulanması planlanan işbirliği özellikleri şunlardır:



Şekil 2: ROS düğüm şeması.

- **3 boyutlu tehdit algılama, robot kaçınma, manevra ve güvenlik sistemi:** Geliştirilecek olan çitsiz robot otomasyon sistemi robotik görüş tabanlı güvenlik teknolojilerini temel almaktadır. Robot hücresinde yer alacak alan sensörleri robotun etrafında tanımlanan bölgeler için anlık olarak tehditleri algılayacak ve robot ile iletişime geçerek robotun durma, rota değiştirme veya kaçınma gibi önlemler almasını sağlayacaktır.
- **Tanımlama tabanlı artırılmış gerçeklik sistemi:** Tanımlama tabanlı artırılmış gerçeklik sistemi gözlük tabanlı teknolojiler üzerine geliştirilecektir. Robotun çalışma ve güvenlik bilgileri gözlük yardımıyla operatöre aktarılacaktır.
- **Yansıtma tabanlı artırılmış gerçeklik sistemi:** Oluşturulan yazılım ile uyarı ve bilgilendirme görselleri oluşturulması ve bu görsellerin ortamda bulunan herhangi bir kişinin görebileceği şekilde zemine yansıtılması düşünülmektedir.

Bildirinin devamında, yukarıda sayılan özelliklerden sonuncusu olan yansıtma tabanlı artırılmış gerçeklik destekli uyarı ve bilgilendirme sistemi kapsamında geliştirilen görsel için bir yöntem sunulmuştur. Artırılmış gerçeklik, gerçek dünyadaki çevreye dijital ortamlarda üretilip eklenen görsel ya da işitsel niteliklerle insanlara daha zengin bir algı ortamı sunmaktadır. Oluşturulan görselin, ortamda bulunan herhangi bir kişinin görebileceği şekilde zemine yansıtılmasıyla insanların aynı ortamda çalıştıkları robotik sistemler hakkındaki farkındalıklarının artırılması hedeflenmektedir. Bahsi geçen hücre tasarımındaki artırılmış gerçeklik özellikleri ile robot ile yakın mesafede çalışan operatörlerin robotun çalışma alanı hakkında uyarılması ve bilgilenebilmesi amaçlanmıştır.

III. YÖNTEM

Robotun çalışma alanında yere yansıtılacak gerçek zamanlı görselin kafes mantığı ile oluşturulması kararlaştırılmıştır. Oluşturulan kafes görselinin kare şeklindeki her bir hücresi görsel için geliştirilen yazılımın başlangıcında tanımlanan bir matrisin elemanlarına denk düşmektedir. Matrisin elemanlarının aldığı değerlere göre, kafesteki hücrelerin renkleri değişmektedir. İlk olarak bütün elemanları sıfır olarak tanımlanan matrise, robotun anlık eksen pozisyonlarını temel alan bir yazılım ile farklı değerler atanmaktadır ve robotun anlık

çalışma alanı baz alınarak operatörler için güvenli ve güvensiz alanlar belirtilmektedir.

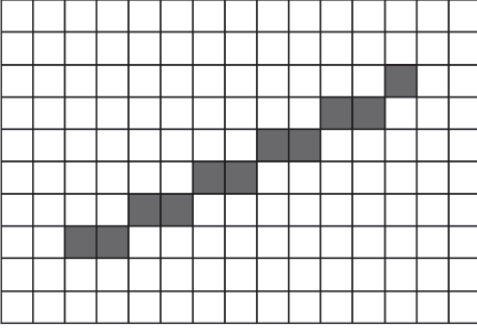
Projenin ilk aşamasında robot eksenlerinin pozisyon bilgileri ROS (Robot İşletim Sistemi, ing. Robot Operating System) kullanılarak yapılan robot simülasyonlarından anlık olarak elde edilmiştir. ROS, robot programlamak için özelleşmiş, açık kaynak kodlu bir yazılım sistemidir. Birçok kütüphane ve görselleştirme aracı barındıran ROS, aynı zamanda ticari amaçla üretilen birçok robota destek imkanı sağlamaktadır. ROS'ta oluşturulan bir sistemin ana çalışma mantığı, düğüm adı verilen, ayrı ayrı görevler yapan ve aralarında yayınlama ve abone olma modeli ile haberleşen kod parçalarıyla bir robot yazılım sistemi oluşturmaktır.

Bu projede, simüle edilen robotun kontrolü için MoveIt! hareket planlayıcı kullanılmıştır. MoveIt!, ROS ile uyumlu hareket planlama, algılama, yön bulma vb. özellikler sunan bir araçtır. Aynı zamanda, simülasyonu yapılan robotun hareketlerini gözlemleyebilmek ve oluşturulan görselin doğruluğunu teyit etmek amacıyla RViz adı verilen 3 boyutlu görselleştirme aracı kullanılmıştır. 3 boyutlu çizimleri bulunan, fiziksel ve kinematik özellikleri bilinen bir robotun RViz ile görselleştirilmesi yapılabilmektedir. Ek olarak, elde edilen sensör bilgilerinin görselleştirmesini yapmak da mümkündür.

Simülasyonu yapılmak üzere 6 eksenli bir endüstriyel robot seçilmiştir. Robot, ROS MoveIt! hareket planlayıcı kullanılarak gerçek çalışma senaryolarına uygun hareket komutlarıyla kontrol edilmiştir. Bu hareketler sırasındaki her robot ekseninin anlık pozisyonu ROS'un tf paketini kullanılarak görselin oluşturulduğu yazılıma yayınlanmıştır. Şekil 2'deki düğüm şemasında da görüleceği üzere, oluşturulan yazılım sistemindeki düğümler olan robotun hareket komutlarını aldığı MoveIt! tabanlı kontrolcü, simülasyon yazılımı ve görsel oluşturma yazılımı ayrı ayrı programlanmıştır ve yayınlama/abone olma modeli ile birbirleriyle haberleştirilmektedir.

Simülasyonu yapılan eksen pozisyonlarının yayımlandığı düğüm yardımıyla bu pozisyonlar görsel oluşturma yazılımına aktarılmıştır. Görsel oluşturma yazılımı aldığı noktaların oluşturulan matrise karşılık geldiği noktaları hesapladıktan sonra literatürden elde edilen uygun kafes görseli doldurma yazılımları ile güvenli ve güvensiz alanları oluşturmaktadır.

İki boyutlu kafes görseline aktarılmış eksen pozisyonlarının birleştirilmesi için, ardışık her iki eksen hücresi arasında Bresenham çizgi algoritması kullanılarak çizgi çekilmiştir [14]. Bresenham çizgi algoritması, dijital ekranlara yapılan çizimler



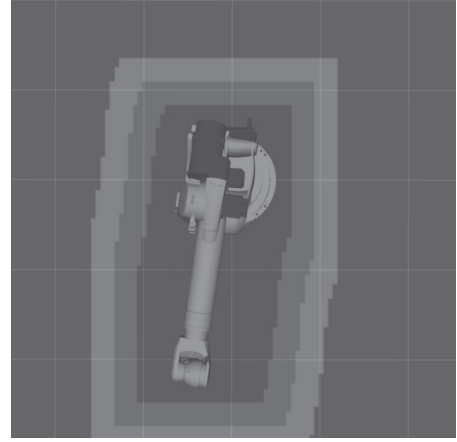
Şekil 3: Kafes görselinde iki nokta arasında Bresenham Line Algorithm kullanarak çekilen çizgi (üst), taşıma algoritması ile etrafı doldurulan bir nokta (alt).

için geliştirilen bir algoritmadır. Bu işlem ardışık her iki eksen için gerçekleştirildikten sonra robotun iki boyutlu kafes görseli elde edilmiştir. Örnek bir Bresenham çizgi algoritması uygulaması Şekil 3'te görülebilir. Bu görsel için algoritmaya girdi olarak çizginin başlayacağı ve biteceği iki nokta ((3,3) ve (13,8)) verilmiştir ve çıktı olarak bu iki noktayı kafes görselinde birleştiren noktalar elde edilmiştir.

Yatay düzlemde Bresenham çizgi algoritması ile oluşturulan çizgilerin etrafına taşıma algoritması kullanılarak robotun çalışma alanını ifade eden alanlar belirtilmektedir. Bahsedilen yöntemin iki nokta için gerçekleştirilen bir örneği Şekil 6'da görülebilir. Oluşturulan görselde kırmızı, turuncu, sarı ve yeşil olmak üzere toplam 4 adet bölge bulunmaktadır:

- **Kırmızı Bölge:** Robotun faaliyeti süresince yatay düzlemde anlık olarak kapladığı alanı belirtmektedir. Robotun hareketlerine göre anlık olarak güncellenmektedir. Operatörler tarafından ihlal edilmemesi gereken üç alandan biridir.
- **Turuncu Bölge:** Robotun yatay düzlemde anlık olarak kaplamadığı ancak herhangi bir hareketi sonucunda ilk olarak kaplayabileceği alanı göstermektedir. Operatörler tarafından ihlal edilmemesi gereken üç alandan biridir.

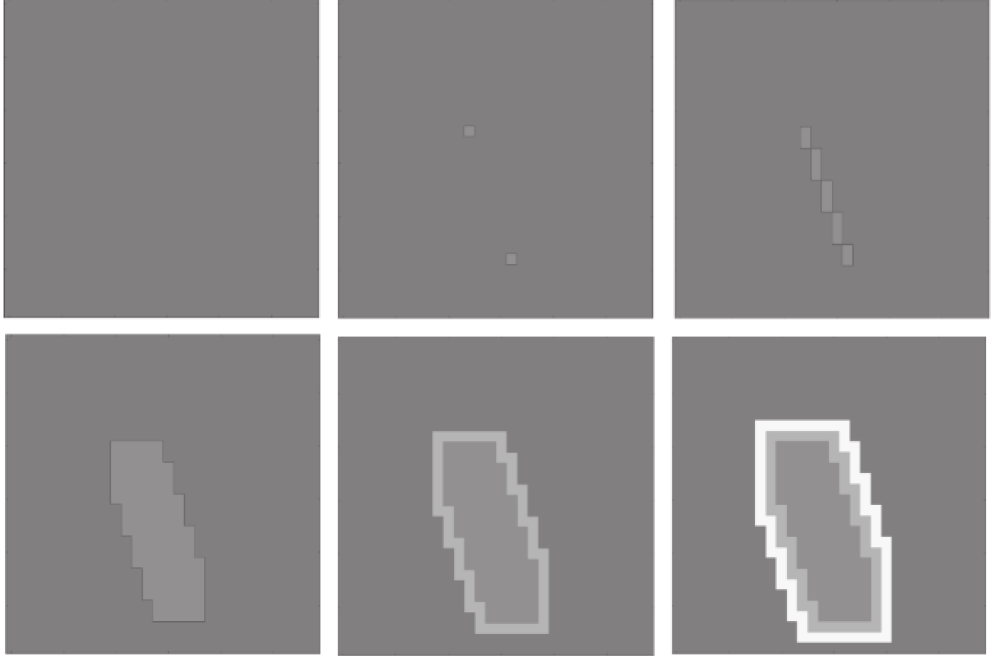
- **Sarı Bölge:** Robotun planlanan çalışma sahasından yeşil bölgeye olan geçiş alanını göstermektedir. Robot hücrelerine eklenmesi planlanan sensörlerle yapılacak engel algılama işlemi ile tetiklenecek robot kaçınma yazılımının bu alandan itibaren devrede olması planlanmaktadır. Operatörler tarafından ihlal edilmemesi gereken üç alandan biridir.
- **Yeşil Bölge:** Robotun planlanmış çalışma alanının yatay düzlemde kapladığı alanın dışında kalan bölümdür. Alanda bulunan operatörlerin robotun faaliyetleri sırasında çalışabileceği alanı belirtmektedir.



Şekil 4: Robotun bir rastgele bir konfigürasyonda, oluşturulan görsel ile durumu.



Şekil 5: Robotun rastgele bir konfigürasyonda, oluşturulan görsel ile durumu.



Şekil 6: Görsel oluşturma uygulamasında takip edilen yöntemin iki nokta için gösterilen hali. Sırasıyla, eksen pozisyonları iki nokta şeklinde boş kafes görselinde işaretlenir, aralarına Bresenham çizgi algoritması ile çizgi atanır, daha sonra taşırma algoritması ile sarı, turuncu ve kırmızı alanlar belirtilir.

Görsel için oluşturulan yazılım, robotun eksen sayısına, eksen uzunluklarına, istenilen çözünürlüğe, uygun görülen güvenlik alanları boyutlarına göre matrisin boyutlarını kolayca değiştirebilir ve algoritmayı da buna uygun şekilde düzenleyebilir durumdadır. Bu sayede, bu bildiride bahsedilen görsel oluşturma tekniği farklı robot ve hücre konfigürasyonlarına da uygulanabilir hale getirilebilmektedir.

IV. SONUÇ

Bu bildiride, endüstride insan-robot işbirliğinde güvenliğin artırılması amacıyla geliştirilen bir robot hücresine entegre edilmesi planlan, yansıtma tabanlı artırılmış gerçeklik özellikleri içeren bir uyarı ve bilgilendirme sisteminden bahsedilmiştir. Şekil 6'da bir örneği sunulan algoritmayı kullanarak Şekil 4 ve Şekil 5'te görüldüğü gibi robotun zeminine yansıtılacak bir görsel elde edilmiştir.

Robot ve insan işbirliği, endüstri 4.0'ın en önemli unsurlarındandır. Bu işbirliğinde insan güvelliği, üzerine en çok çalışılan konuların başında gelmektedir. Bu çalışma, insan robot işbirliğine uygun bir robotik hücre tasarımının özelliklerinden biri olarak düşünülmüştür. ROS tabanlı simülasyon araçları kullanılarak gerçek endüstriyel üretim senaryolarına uygun hareket komutlarıyla simülasyonu yapılan bir endüstriyel robotun paylaştığı anlık eksen pozisyonlarını temel alan, dinamik olarak değişen ve Bresenham'ın çizgi algoritması, taşırma algoritması gibi algoritmalar yardımıyla

kafes yapısına getirilen iki boyutlu bir görsel oluşturulmuştur. Görsel, içerdiği dört farklı renkteki alan bilgileriyle robotun etrafında çalışan operatörlere güvenli ve güvensiz bölgeler hakkında bilgi sağlamaktadır. Çalışmanın devamında, oluşturulan görselin en az iki projeksiyon yardımıyla deneysel amaçla oluşturulan bir robot hücresinin zeminine yansıtılması planlanmaktadır. Robotik hücreye ileriki zamanlarda insan-robot işbirliğini geliştirmek amacıyla eklenmesi düşünülen diğer özellikler olan robot tarafından nesne algılama ve kaçınma, insan odaklı tanımlama tabanlı artırılmış gerçeklik gibi özelliklerle beraber, bu bildiride bahsedilen sistemin insanların robotlarla birlikte güvenli bir biçimde çalışabilmeleri hedeflenmektedir.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 1511 Öncelikli Alanlar Araştırma Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1170213 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] I. F. R., "Executive Summary: World Robotics 2018 Industrial Robots", Available online on <http://www.worldrobotics.org>. Accessed in March 2019.
- [2] M. Vasic and A. Billard, "Safety issues in human-robot interactions," 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Karlsruhe, 2013, pp. 197-204.

- [3] M. J. Rosenstrauch and J. Krüger, "Safe human-robot-collaboration-introduction and experiment using ISO/TS 15066," 2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), Nagoya, 2017, pp. 740-744.
- [4] J. E. Colgate, W. Wannasuphprasit and M. A. Peshkin, "Cobots: Robots for Collaboration with Human Operators," (1996).
- [5] A. Csizsar, M. Drust, T. Dietz, A. Verl, C. Brisan, "Dynamic and interactive path planning and collision avoidance for an industrial robot using artificial potential field based method," in *Mechatronics*, pp. 413-421, 2012.
- [6] P. A. Lasota, G. F. Rossano and J. A. Shah, "Toward safe close-proximity human-robot interaction with standard industrial robots," 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Taipei, 2014, pp. 339-344.
- [7] N. Pedrocchi, M. Malosio and L. M. Tosatti, "Safe obstacle avoidance for industrial robot working without fences," 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, St. Louis, MO, 2009, pp. 3435-3440.
- [8] T. Pettersen, J. Pretlove, C. Skourup, T. Engedal and T. Lokstad, "Augmented reality for programming industrial robots," The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings., Tokyo, Japan, 2003, pp. 319-320.
- [9] V. Paelke, "Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment," Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), Barcelona, 2014, pp. 1-4.
- [10] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier and B. MacIntyre, "Recent advances in augmented reality," in *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 21, no. 6, pp. 34-47, Nov.-Dec. 2001.
- [11] S. K. Ong, M. L. Yuan and A. Y. C. Nee "Augmented reality applications in manufacturing: a survey," *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 10, pp. 2707-2742, 2008.
- [12] D. W. F. Van Krevelen and R. Poelman, "A survey of augmented reality technologies, applications and limitations," *International Journal of Virtual Reality*, 9(2):1, 2010.
- [13] T. İcten G. Bal "Artırılmış gerçeklik üzerine son gelişmelerin ve uygulamaların incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, vol. 5 no. 2, pp. 111-136, 2017.
- [14] J. E. Bresenham, "Algorithm for computer control of a digital plotter," in *IBM Systems Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 25-30, 1965.