

Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması

Gürkan GÜRGÜZE^{1*}, İbrahim TÜRKOĞLU²

^{1,2} Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹gurkangurgoze@gmail.com, ²iturkoglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 15/03/2018;

Kabul/Accepted: 21/12/2018)

Özet

Geçmişten günümüze robot dünyası incelendiğinde donanımsal ve yazılımsal alanlarda gerçekleşen atılımlarla robotların, endüstrinin dışında uzay, askeri, tıp, arama kurtarma gibi birçok alanda geniş bir araştırma sahası bulduğu görülmektedir. Daha ayrıntılı ve kapsamlı çalışmaların yapılmasıyla robotların çalışma alanlarına göre ayrıştırılmasına ve bu alanlarda çalışabilecek şekilde planlama algoritmalarının geliştirilmesine gereksinim doğmuştur. Bu gereksinime binaen robotların kullanım alanlarına göre gerek donanımsal algılama sistemleri ve gerekse yönetim algoritmalarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi bu makalede ele alınmıştır. Yapılan çalışmada, robot sistemlerin uygulama alanları, başarımları, eksiklikleri ve temel sorunları ile gelecekte üzerinde araştırma yapılabilecek alanları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Robotların Sınıflandırılması, Mobil Robotlar, Robot Araştırma Konuları, Çoklu Robotlar, Robot Algoritmaları

Classification of Robot Systems According to Application Areas

Abstract:From the past to the present when robotics world is examined, it is seen that robots have found a wide field of research in many fields such as space, military, medicine, search and rescue besides industrial robots with the breakthroughs realized in hardware and software areas. More detailed and comprehensive studies have required the decompose of robots according to their field of work and the development of planning algorithms that can work in these areas. According to this requirement, the comparison of hardware detection systems and management algorithms according to the usage areas of robots is considered in this article. In this study, application areas, achievements, deficiencies and basic problems of robot systems and areas where research can be done in the future are presented comparatively.

Keywords: Classification of Robots, Mobile Robots, Robot Research Topics, Multiple Robots, Robot Algorithms

1. Giriş

İnsanların sürekli olarak kendine yardımcı olacak araçları geliştirme çabası günümüzde hayvanlara, bitkilere ve özellikle kendine benzer cihazları yapma çalışmalarına kadar gitmiştir. Tarihin çeşitli zamanlarında mekanik çalışan robot denemeleri varsa da asıl gelişme 20.yy da olmuştur. 1900'lü yıllarda robotlar dokuma tezgâhlarında yardımcı iş makineleri şeklinde hayatımıza girmiştir. Ancak asıl öngörülen insanların yaptığı işi yapabilen robotlardı. General Motors bu konuda ilk olarak otomotiv endüstrisi montaj alanının da bu tür robotları kullanmıştır. Böylece daha hızlı, maliyeti az, hata oranı düşük ve seri üretimlerin yapıldığı üretim hatları oluşturuldu[1]. Daha sonraki yıllarda elektronik ve yazılım dünyasında büyük atılımların yapılması yapay zekâya dayılı, insan ve doğa özelliklerini üzerinde bulunduran robot sistemlerin hızla gelişmesini sağlamıştır. Özellikle, robotlara yeni donanımsal sistemlerle etkili hareket kabiliyeti kazandırılması robotların sabit üretim alanının dışına çıkmasına uzay, askeri, tıp, arama kurtarma, hizmet sektörü ve ev uygulamaları gibi birçok alanda mobil olarak kullanılmasına imkân vermiştir[2,3]. Başlangıçta mobil robotlarla ilgili çok fonksiyonlu tek yapılı robot sistemler üzerinde çalışılmıştır. İnsansı (humanoid) robotlar çalışmaların yüksek maliyetlerle yapıldığı ilk alanlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bunların kullanım uzaylarının kısıtlılığı, sistemlerinin karmaşık oluşu ve geliştirme maliyetlerinin yüksekliği, daha basit fakat yetenekleri öncekilerden daha fazla olan, kullanımı kolay, ebatları ve maliyetleri düşük donanımsal sistemlerin gelişmesine yol açmıştır[4]. Yazılımların da, paralel olarak bu donanımsal gelişmelere cevap vermesi robot sistemlerin araştırma ve uygulamalarının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Fakat tüm işleri çok fonksiyonlu olarak bir robotun yapması çeşitli aksaklıkları beraberinde getirmiştir. Oluşan herhangi bir sistem hatasında görevin sonlanması, sınırlı hareket alanının yetersizliği, çevreyle istenilen düzeyde etkileşim içerisinde olamaması gibi durumlar aynı görevi birden fazla robotun yapabileceği çoklu robot fikrini ortaya çıkarmıştır. Böylece çok sayıda robotla yapılan görevlerde birinin başarısızlığı diğerlerini etkilemeden görevlerin tamamlanabilme esnekliğini sağlamıştır[5]. Doğayı ve canlıları

* Sorumlu yazar: gurkangurgoze@gmail.com_ Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-2831-498X, ² 0000-0003-4938-4167

odak noktası alan robot araştırmaları çoklu robotların geliştirilmesiyle birlikte sürü halindeki canlıların yaşamsal faaliyetlerini, hareketlerini ve davranışlarını inceleyerek onları taklit eden sürü robotlarını ortaya çıkarmıştır[6]. Özellikle bu alandaki çalışmalarda kuş, balık, arı, karınca gibi küçük canlılar üzerinde odaklanılmış ve beraberinde yapıların daha esnek, daha hassas ve daha küçük boyutlara ulaşması sağlanmıştır. Böylece araştırmacılar sivrisinek, arı, su böceği gibi küçük boyutlardaki canlıların daha büyük benzer sistemlerin sorunlarının çözümüne ışık tutacak aynı davranışları sergileyecek biyolojik robotları geliştirmişlerdir[7]. Hatta donanımsal yapılar öyle boyutlara ulaşmıştır ki hayvan ve insan vücudundaki bazı durum ve olayların tespiti amacıyla mikro boyutlarda mikro-nano robot ve ortam bilgisini doğadaki canlılar gibi alabilen duyurga robot çalışmaları yapılmaya başlanmıştır[8]. Bunların yanı sıra insanla aynı ortamda ortak çalışabilen, insanla etkileşimi yüksek, kendi kendine kararlar verebilen robotların mevcut olan başarılı uygulamaları bu alanda işbirlikçi robot ve haptik sistem çalışmalarını arttırmıştır. İşbirlikçi robotlar günümüzde endüstri, hizmet sektörü, ev-ofis gibi ortak çalışma alanlarında insana yardımcı olabilen robotlar olarak görülmektedir[9]. Haptik sistemler ise uzaktan simülatör ve kontrol paneller yardımıyla çeşitli robot sistemlerin hassas kontrolüne imkan vermesi açısından önemli bir yer tutmaya başlamıştır[10]. Robot dünyasındaki bu gelişmeler robot sistemlerin çeşitlenmesini sağlamış ve birçok yeni araştırma alanı ve konusunu ortaya çıkarmıştır.

Bu makalede robotların sınıflandırılması ve son yıllarda üzerinde yoğun çalışılan güncel konuların karşılaştırılmalı irdelenmesi ile hangi alanda ne tür algoritma ve yöntemlerin kullanıldığı ve güncel ne tür problemlerin var olduğu ortaya konulmuştur. İkinci bölümde robotların çalışma ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılması, üçüncü bölümde bu alanda yapılan güncel çalışmalar verilmiş, dördüncü bölümde robotların kullanım alanlarına göre karşılaştırması yapılmış, sonuç ve tartışma kısmında ise genel değerlendirme ve güncel olarak üzerinde çalışılabilecek problemler genel ve detayda ortaya konmuştur.

1. Robotların Sınıflandırılması

Robotlar eklem yapılarına, kullanım alanlarına, işlevsel özelliklerine, kontrol yöntemlerine ve çalışma prensiplerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Tarihi gelişim açısından günümüze kadar genel olarak bu sınıflandırmaya baktığımızda, endüstriyel ve mobil robotlar olarak karşımıza çıkmaktadır[11]. Endüstriyel robotlar eklem sayılarına ve işlevsel özelliklerine göre sınıflandırılırken, mobil robotlar ise genel olarak çalışma prensiplerine, sayılarına, ebatlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Aynı zamanda bu sınıflandırmalara ek olarak hem endüstriyel hem de mobil robotlarda insan robot etkileşimini uzaktan çeşitli aygıtlarla yapmamızı sağlayan haptik sistemler farklı bir sınıflandırma olarak karşımıza çıkmaktadır. Mobil robotlar; insansı robotlar, çoklu robotlar, sürü robotları, mikro nano robotlar, biyolojik (biyo-ilhamlı) robotlar, işbirlikçi robotlar ve duyurgalar şeklinde sınıflandırılmaktadır.

1.1. Endüstriyel robotlar

ISO 8373 tarafından belirlenen özelliklerine göre bir endüstriyel robot “üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya tekerlekleri olan endüstriyel uygulamalarda kullanılan manipülatör” şeklinde tanımlanmaktadır. Programlanabilir olup kendi başına iş yapabilme yeteneği günümüze kadar endüstriyel robotların imalat, kesme, taşıma, montaj gibi birçok işi yapmasını sağlamıştır. Sanayide yapılan üretimler hızlanmış, işçilik maliyetleri düşmüş ve üretim miktarları kat be kat artmıştır. İnsan hatalarının önemli olduğu, insan hayatını tehlikeye sokan, dikkat ve hassasiyet gerektiren işlerde tutarlı, tekrarlı, yüksek başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Endüstriyel robotlar, işlevlerine, boyutlarına, hassasiyetine, gücüne, kullandığı enerjiye, kontrol yöntemine, hareket yeteneğine ve eklem yapısına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Ancak genel olarak ilk üç uzvunun özelliğine göre sınıflandırılmış bu minvalde kavramsal olarak ifade edilmiştir. Uzvunun yapısına göre kartezyen, silindirik, küresel, döner mafsallı ve scara tip robotlar şeklinde sınıflandırılmaktadır[12].

1.2. Mobil robotlar

Endüstriyel robotlar bilindiği üzere tanımlanmış sınırlı alanlarda çalışabilen, sürekli aynı işleri tekrarlayan sistemler olarak vardır. Günümüzde yenilenen teknolojiler bu yapıların daha etkin çalışmasını sağlamakla birlikte kendi alanlarının dışına çıkmasını ve kendi kendine karar verme yeteneklerine sahip, hareket kabiliyetleri yüksek mobil robotların gelişmesini sağlamıştır. Özellikle endüstriyel ortamlarda malzemelerin robot uzayına taşınması yapılırken mobil robotlar ile problemin uzayına gitme gerçekleştirilerek manevra ve kabiliyet alanı arttırılmış böylece yapılacak işlemlerin esneklik, kolaylık, pratiklik kazanması sağlanmıştır. Örneğin, bir arama kurtarma çalışmasında girilemeyen ortamlara girmede, ortam taramada, uzay projelerinde, insansız hava

araçlarında, müdahalesi zor cerrahi operasyonlarda, akademik araştırmalarda etkin ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır[3]. Mobil robotlar; görev alanlarının genişlemesiyle birlikte günümüzde ana çerçevede insansı (humanoid) robotlar, çoklu robotlar, sürü robotları, mikro-nano robotlar, biyo-ilhamlı robotlar, işbirlikçi robotlar ve duyargalar gibi farklı alt türevleri şeklinde geliştirilme alanları bulmuştur.

1.2.1. İnsansı robotlar

İnsan gibi düşünen, konuşan, yürüyen, tepki ve kararlar verebilen akıllı robot fikri 1990'lı yıllardaki elektronik ve mekatronik sistemlerdeki gelişmelerle birlikte hayal olmaktan çıkmış insanlarla birlikte onun gibi çalışan evde, işte ve her alanda işlerini yapabilen makinelerin dünyamıza girme olabirliğini ortaya çıkarmıştır[1]. Bu durum birçok üniversite, devlet ve araştırma şirketlerinin ilgisini çekmiş büyük yatırımlarla geliştirilmeye başlanmıştır. Özellikle dengede kalma problemi, insan gibi karar verme, konuşma, ortam algılama, kendini bilme gibi konular üzerinde durulmuş ve bunların birçoğunda büyük çaplı ilerlemeler gerçekleştirilmiştir[13]. Uzay ve askeri alanlardaki yoğun çalışmalar ile birlikte Honda şirketinin Asimo, Waseda Üniversitesinin WABIAN-RII, Twente Üniversitesinin Tulib, KAIST Mühendisliğin KHR robotları bu alandaki başarılı çalışmalar arasındadır[14]. Türkiye'de ise SURALP robotu bu düzeyde yapılan ilk çalışmalardan biri olarak görülmektedir. İnsansı robot çalışmaları uzay keşif robotlarıyla birlikte robot bilimindeki gelişmelere lokomotif olmuştur.

1.2.2. Çoklu robotlar

Tek robot sistemlerin çoklu görevlilik özellikleri geliştirildikçe yapıları karmaşık hale gelmeye, işlem ve hareket kabiliyetleri sınırlanmaya başlamıştır[5]. Daha sonraları robot sistemlerinin yapısal olarak küçülmesi, düşük maliyetlerde ve ulaşılabilir hale gelmesi tek robot sistemlerin görevlerini birden fazla robotun ortak veya görev paylaşımı yapabileceği çoklu robot sistemlerin doğmasına neden olmuştur[4]. Çoklu robotların, bir birleriyle haberleşerek, koordineli bir şekilde ekip anlayışıyla kısmi ya da tam otonom olarak verilen karmaşık görevleri yapabilme yetenekleri basit, sağlam, güvenilir yapılar olması üstünlükleri olarak ortaya çıkmıştır. Çoklu robotlar heterojen veya homojen ekiplerden oluşabilir. İletişim, ortamı algılama, görev anlayışları farklı olabilir. Çoklu robotlarda amaç hedeflenen görevi, robotların belirlenen donanım ve özelliklerine göre birden fazla robotla gerçekleştirebilmektir. Arama kurtarma, keşif, ortamdan bilgi alma, girilmesi zor tehlikeli ortamlara girme, felaket alanlarında haritalama gibi işlerde son zamanlarda kullanılmaya başlanmıştır[15].

1.2.3. Sürü robotları

Çoklu robotlarda birden fazla robotun istenilen görevi yapması üzerine yapılan çalışmalarda doğada sürü halinde hareket eden canlıların bir araya geldiklerinde yapmış oldukları koordineli ve gelişmiş davranışların homojen robotlarla ortak bir akıl üzerinde yapılabileceği fikri sürü robot mantığını ortaya koymuştur. Özellikle kullanılan donanımsal yapıların mikro düzeyde küçük ve işlevsel hale gelmesi bu alana ilgiyi artırmış ve sürü robotlarının yapılabilmesini mümkün kılmıştır[16]. Çoklu robotlarla kıyaslandığında homojen olması, çalışılan sürünün özelliklerinin, çalışma yapısının, iletişim ve ortam bilgisinin dikkate alınması sağlamlık, ölçeklenebilirlik ve güvenilirlik noktasında sürünün karşılaştığı benzer problemlerin çözümünde benzer çözümler sunabilmesi farklılıkları olarak gözlenmiştir. Homojen olmaları sağlamlık ve esnekliklerini arttırmış ve yapılan görevlerin sürüdeki robotlardan bağımsızlığını sağlamıştır. Herhangi bir robota bir şey olduğunda sayıca fazlalıklarından dolayı görevleri sonlanmaz[17]. Tüm bu özelliklere rağmen sürü robotları halen gerçek dünyada tam olarak istenilen düzeyde gerçekleştirme imkânı bulmamıştır. Ancak laboratuvar ortamlarında yapılan birçok çalışma mevcuttur. Harvard Üniversitesi tarafından madeni para boyutlarında 1024 tane robottan oluşan kilobot isimli sürü robot topluluğu ve Fraunhofer Enstitüsünün geliştirmiş olduğu karınca robotları bu alanda yapılmış bilinen etkili sürü robotlarıdır.

1.2.4. Mikro-Nano robotlar

Mikro nano robotlar nanometre boyutlarında oluşturulması hedeflenen robotiğin yeni bir araştırma alanıdır. Çok küçük moleküler düzeyde olmaları düşünülen bu robotlarla ilgili ilk teorik çalışma Robert Freitas tarafından ortaya atılmıştır. Özellikle son zamanlarda tıp alanında insanın organlarında dolaşarak çeşitli görevler icra edebileceği düşüncesi bu alandaki çalışmaların artmasını sağlamıştır[18]. Ancak bu çalışmalar birkaç deneysel çalışmaların dışında genellikle laboratuvar ortamında ve düşünülenin ötesinde daha büyük boyutlardaki yapılarda geliştirme aşamasında durmaktadır. Çünkü teknoloji ne kadar ilerlese de mikro düzeyde oluşumlar için

hala daha kısıtlı olarak durmaktadır. Tüm kısıtlamalara rağmen günümüzde tıp alanında tümör ve kanser hücrelerinin tespiti ve bunlara yönelik müdahaleler üzerinde çalışmalar yoğun olarak yer almıştır. Son yapılan bir çalışmada geliştirilen bir kapsül ile bağırsakların gözlemi yapılabilmektedir. Bunların yanında mikro yüzme robotları ile boru hatlarının hasar tespitleri, çeşitli noktaların gözetlenmesi, robot konumlarının önceden belirlenmesi gibi çalışmalarda bulunulmuştur. Çalışmalar incelendiğinde mikro nano robotlarda enerji kaynağı ve devamlılığı, istenilen noktalara yönelim sağlama, hareket kontrolleri, tıp alanındaki uygulamalarda dokulara zarar tespitleri bu alandaki en öne çıkan problemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.2.5. Biyo-ilhamlı robotlar

Mobil robotların son dönemlerde ilgi konularından biride doğadaki canlıları taklit eden ve onlar gibi özellikler sergileyen biyolojik ilhamlı robotlardır. Bu robotların diğerlerinden farkı ilham alınan canlıların kendi doğalarında yapmış oldukları özellikleri yapabilen, aynı veya benzer ortamlara uyum sağlayabilen ve donanımsal olarak modellenen canlıya benzer yapılar olmasıdır[7]. Böylece zor ve karmaşık gelen olayların çözümlenmesi konusunda canlıların bütünsel yapıları gerçekleştirilmiş ve bu alanda yapılan çalışmalarda eksikliklerin giderilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmaların sağladığı çözümler daha sonra insanların kullanabileceği ebatlarda geliştirilmelerine ve daha doğal robot yapılarının gerçekleştirilmesine öncülük edecektir.

1.2.6. İşbirlikçi ve etkileşimli robotlar

Bilindiği gibi robotlarla ilgili ilk çalışmalar sanayi ortamlarında ağır yükleri taşımak, iletmek, yerleştirmek veya bazı basit kaba görevleri yapma üzerine yapılmıştır. Daha sonraki dönemlerdeki gelişmeler artık tepkisel robotların geliştirilebilmesine olanak sağlamış ve insanlarla aynı ortamları paylaşacak robotları imkânlı kılmıştır. Günümüzde insanlarla ortak çalışabilen, yardımcı olan ve aynı ortamları güvenli bir şekilde paylaşabilen, tepkisel ve geniş görev yüzeyinde çalışabilen bu robotlara işbirlikçi robotlar denmektedir[9,19]. İşbirlikçi robotlar özellikle insan robot işbirliğine dayalı çalışan robotlardır. Bu robotlar insanların özelliklerini algılayan, davranışlarını kullanıcının yaptıklarına göre ayarlayabilen ve istenilen görevi eksiksiz bir şekilde kendi karar mekanizmalarıyla yapabilen, öğrenme yeteneklerine sahip gelişmiş robotlardır[36]. Endüstride, evlerde, tıp ve hizmet sektörlerinde oldukça etkin çalışma alanları bulmuştur. Endüstride imalat ve montaj işlerinde yardımcı kol ve elemanlar, tıp alanında rehabilitasyonda, cerrahi müdahalelerde, tekerlekli sandalyelerde, ev uygulamalarında, otel, müze gibi hizmet alanlarında bilgilendirici veya refakatçi olarak işbirlikçi robotlar karşımıza çıkmaktadır[10].

1.3. Haptik sistemler

Haptik sistemler; insan bilgisayar etkileşiminin duyularla sağlandığı, geliştirilmiş 3 boyutlu sanal ortamların veya sisteme bağlı aygıtların çeşitli arayüz aygıtlarıyla manipüle edildiği robot teknolojisidir. Sanal ortamın veya aygıtın dokunduğu noktaların hissedilmesi üzerine yapılan çalışmalardır. Mesela, bağlı olan aygıt çalışma alanında bir noktaya dokunduğunda bu sistemi kontrol eden kişinin de bu dokunma duyusunu hissetmesi buna göre işleri gerçekleştirmesi sağlanır. Boyama, askeri ve tıbbi uygulamalar, heykeltıraşlık, eğitim, oyunlar gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle tıp alanında bu tür sistemlerin kullanımı cerrahi işlemlerde yaygındır. Bu alanda ilk yapılan haptik sistem çalışması MIT tarafından kuvvet geri beslemeli cerrahi donanım olarak 1995 yılında beyin ameliyatlarında kullanılmıştır. Bunların yanı sıra eğitim simülasyonları ve oyunlarda da sanal ortamların duyuşsal olarak algılanmasında gerçekçi uygulamaların yapılması sağlanmıştır[22].

2. İlgili Çalışmalar

Robotlarla ilgili son yıllardaki çalışmalar incelendiğinde insan-nesne etkileşimi, insan-robot etkileşimi, otonom özellikler, robotların birbirleriyle ortak hareketi, en uygun rotada hareket, çoklu robotların iletişimi, haptik yapıların hassas ve senkron kullanımı, sürü ve çoklu robotların görev paylaşımını çalışmaları, robotlarda duyuşsal algılamalar, denge problemleri, doğru konumlama gibi konular üzerine yoğun çalışmaların olduğu görülmüştür.

Canal ve diğ. Bir robotun sözsüz kanallar vasıtasıyla jestleri, hareketleri ve davranışları tanınması üzerine geliştirilen İnsan robot etkileşimi (HRI) sistemi tanıtılmıştır. Hareket özelliklerine dayalı dinamik zaman uyumsuzlaştırma yaklaşımı kullanılarak jestleri tanıma ve tepki vermesi sağlanmış. Statik duruş da hareket algılanması ve etkileşimde olunup olunmadığı stokastik bölütleme algoritmasıyla tespit edilmiş. Hareketleri RGB

bilgisiyle anlık belirlemek için derin öğrenme yöntemi, dış ortamdan hareket bilgisi almak için ise kinect sensörü kullanılmış. Deney farklı yaş, ırk ve cinsiyetten 67 kişi üzerinde yapılmış. Sonuçta insan jest ve mimiklerinin robotlar tarafından işaret ve hareket olarak algılandığı görülmüş. Bu sayede yaşlı veya özürlü insanların, ihtiyaçlarını gidermek için geliştirilen robotlarla iletişim kurabilmelerinin mümkün olduğu tespit edilmiş[23].

Cherubini ve diğ. İnsan kolu örnek alınarak gerçekleştirilen bir endüstriyel robotun çevre ve insan ile etkileşimi ve işbirliğine dayalı çözüm önerisi sunmuşlardır. Kamera kullanılarak alınan görüntüden insanın hareketlerini algılanması ve buna bağlı olarak alet ve montaj yardımının yapılması sağlanmıştır. Robotun ağır ve yaralanma riski olan alanlarda çalışması operatörlerin yükünü yaklaşık %60 oranında azalttığı ve yaralanmaların önemli ölçüde giderildiği tespit edildi[24].

Skantze ve diğ. İnsan robot etkileşiminde yüz ifadeleri ve sesleri birlikte kullanarak insan davranışını algılama ve bunlara karşı davranış geliştirme üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. IrisTK2 adlı bir açık kaynak kodlu yazılım geliştirilmiş. Baş hareketlerini algılamak için Kinect sensörü kullanılmış. Robot başının karşısındaki insanın etkileşimde olup olmadığını algılaması için Durum Modeli oluşturulmuş. Ses ve yüz ifadelerini birlikte algılama ve anlama için 0.677'lik R değeri veren bir regresyon modeli geliştirilmiş. Yüz ifadesi, baş hareketleri, bakışlar ve tereddütlü ses gibi ince çok modlu ipuçlarını birleştirerek hızlı bir algılamayla daha hızlı tepki vermesi sağlanmış[25].

Sigalas ve diğ. Bu makalede, ziyaretçileri müzelerde ve sergi merkezlerinde yönlendiren bağımsız yönlendirmeli robotlarla doğal etkileşimi desteklemeyi amaçlayan yeni bir el hareket tanıma sistemini anlatıyor. Sistem üst vücut parçasını ve iki kol hareketlerini izleme ve sınıflandırma üzerine çalışmaktadır. Sınıflandırma için kombine oluşturulmuş MLP(Multi Layer Perception)/RBF(Radial Based Fonction) sinir ağı yapısı kullanılmış. MLP standart sınıflandırıcı, RBF ise sistemin bir sonraki durumu için eğitilmiş. RBF'nin çıktısı yine MLP'ye geri beslenerek tanımlamanın tutarlı ve sağlam olması sağlanmış. Başarı %86 oranında elde edilmiş. RBF'nin sistemden çıkarılmasıyla tanımlama hatasının %15'ten fazla olduğu gözlenmiş[26].

Burke ve diğ. Mikro insansız hava aracının, insanların belirlenen beş farklı pandomik jestlerini algılayarak buna göre güdültülü durumlarda dahi haptik sistemler gibi kontrol edilmesi üzerine bir çalışma sunmaktadır. Hareketlerin sınıflandırması için Bayes tabanlı yeni PCA (Principal Component Analysis) sınıflandırıcısı sunulmuş, hareket tanımlamada kinect sensörü kullanılmıştır. Tanımlama doğruluğu %95.1 oranında elde edilmiş. Böylece insan hareketlerinin sezgisel olarak yüksek başarımda algılanabileceği gözlenmiş[27].

S. Makris ve diğ. Bütünleşik çift kol robotunun hareketlerini gerçekleştirmesi için ROS işletim sistemi görev tabanlı sezgisel bir çerçeve program sunulmuştur. Bu program sayesinde robotun daha modüler kullanımı amaçlanmış. Aynı zamanda iki kollu robotun iki ayrı tek kollu yapıya oranla başarımı ve avantajları tartışılmış[28].

Pinillos ve diğ. Tasarlanan bir hizmet robotunun otel ortamında insanlarla olan etkileşimi incelenerek hangi yönlerinin iyileştirilebileceği üzerine bir değerlendirme çalışması yapılmıştır. Değerlendirme 3 aşamada gerçekleştirilmiş. İlk aşamada kullanıcıların etkileşimle hizmet talepleri alınmış. İkinci aşamada, belirlenen metriklere göre iyileştirmeler yapılmış. Üçüncü aşamada ise bu iyileştirmelerin ilerleme sağlayıp sağlamadığı ikinci aşamada belirlenen metriklere göre ölçülmüş. Böylece gelecek tasarımlarda hangi durumların ve ihtiyaçların tasarım sürecinde kullanılacağı ile ilgili bir yaklaşım elde edilmiş[29]. İnsanlarla etkileşim üzerine Kennedy ve diğ. Robotların insanlarla sosyal etkileşime girmesini sağlamak amacıyla insanın yadırgamayacağı hareketleri ve tepkileri vermesini sağlayacak bir model geliştirilmiştir. Tepki oranlarını incelemek için iki taraflı t testi ile bir hipotez oluşturulmuş[30].

P.Leica ve diğ. Robotların hareket kontrolünün güce dayalı gerçekleşmesi üzerine interaktif bir sistem sunulmuştur. İnsanın uyguladığı gücün şiddetine göre hareket ve yönlendirme yapılmıştır. Aynı şekilde bu sistemde robotun engellere çarpma gibi çevreyle olan etkileşimin ters yönlü güç iletimiyle haberdar edilmesi sağlanmıştır. Böylece görme özürülere yol gösterme, asgari güçle ağır yük taşıma gibi işlerin kolayca yapılması sağlanabilir. Kararlılık analizi Lyapunov teorisine göre yapılmıştır[31]. Bu alandaki bir başka çalışma S.li ve X. Zhang tarafından gerçekleştirilmiştir. İnsanların göz bakışına göre sözsüz niyet tahminiyle yardımcı robotların aktif kullanımı üzerine bir iletişim yapılması amaçlanmış. Göz hareketleriyle iletişimin az çabayla etkin kullanım sağlaması engelli veya yaşlıların kolaylıkla yardımcı robotları yönlendirmesi amaçlanmıştır [32]. Bu çerçevede başka bir çalışma C.Cifuentes ve diğ. tarafından yapılmış. Yürüme problemi yaşayan hasta ve yaşlılar için geliştirilen akıllı yürüme cihazlarında sabit bir ilerleme yerine kişinin durumuna uygun hız ve yönelim yapabilmesi üzerine çok modlu bir kontrolör ve programı sunulmuştur. Bu sayede yürüyüş kestirimi ile fazla veya az yük uygulanmasıyla kişinin vücut yapısına uygun hareket yapabilmesi sağlanmıştır[33]. Benzer bir çalışmayı V.Dionisio ve D.Brown. tam engelli olmayan ancak rehabilitasyona ihtiyacı olan bireyler için yürümeye yardımcı robotların (KineAssist) etkileşimli olarak gerçekleştirmişlerdir. Yürüyüşü kullanıcının durumuna ve uyguladığı güce uygun bir şekilde kinetik ve kinematik ayarlamalarla etkileşimli olarak yapılması amaçlanmıştır[20]

P.Fankhauser ve diğ. İki farklı tipteki robotun bilinmeyen ve zorlu arazilerde birbirleriyle koordineli bir şekilde hareket etmesi ve iletişimi üzerine bir çalışma sunulmuştur. Arazide paletli veya yürüyen robotların zorlu ve yavaş hareketlerinin en aza indirilmesi için uçan robotların keşif yapıp harita çıkarımına göre en uygun yönlendirmesi hedeflenmiştir. Böylece karşılaşılan engeller ve zorluklar önceden belirlenerek yerdeki robotun uygun manevrayı yapabilmesi sağlanmış[10].

D. Fraga ve diğ. Çoklu robotların sosyal odometri ile birbirlerinden herhangi bir durum ve bilgiyi öğrenme olanağı bulmasını sağlayan kategoriye dayalı sistem senaryosuyla bir metodoloji önerir. Özellikle dinamik ortamlarda bu teknikle gereksiz işlemler yapılmaksızın çözüm performansı arttırmak hedeflenmiştir[34].

A.K. Singh ve G.C Nandi. Bir insansı (humanoid) robotun verilen insan portresi gibi resimlerin eskizini çıkarma uygulamalarında gerçek görüntünün düzlem noktalarını en doğru şekilde algılayıp esnek bir yapıda en doğru hareket ile gerçekleştirmesi için kullanılan temel matris, 4 noktalı kalibrasyon ve YSA tabanlı regresyon tekniklerinin performans analizi yapılmıştır. Zaman karmaşıklıklarına bakıldığında temel matris ve regresyon analizi $O(n^3)$ iken, 4 nokta kalibrasyonun $O(1)$ olduğu, ortalama hesaplama metriklerine bakıldığında 0.3441 ile 4 nokta kalibrasyonun daha etkin olduğu gözlenmiştir[35].

L.Wang. Makalede insan – robot işbirliğinde endüstriyel robot kontrolünün internet ortamından kamerayla izlenmesi ve çarpışma önleme özelliğiyle güvenli bir şekilde yapılabilmesi üzerine bir çalışmadır. Bu şekilde uzaktan kontrolle imalat işlerinin yapılmasını sağlamak amaçlanmıştır. Aynı zamanda çalışmada uzaktan kullanımın internet hızına uygun ayarlamalarla yapılması sağlanmış. Deneysel çalışmada başarımın yüksek oranda olduğu ve çarpışma anında robotun işlevini durdurup güvenli durum oluşana kadar beklediği daha sonra işleme devam ettiği gözlenmiştir[19].

Pinta ve diğ. Farklı firmaların Upnp tabanlı dijital ev uyumlu robotların birbirleriyle işbirlikli iletişime geçmesi üzerine protokole dayalı bir iletişim adaptörü ve yaklaşımı sunulmuştur. Geliştirilen Roombas adaptörü ile tüm cihazların ortak kullanıma uyum sağladığı ve iletişime girdiği gözlenmiştir[36].

Maeda ve diğ. Bu yazıda, hareket ilkelerine dayalı işbirlikçi ve yardımcı robotlar için gizli markov modeli kullanarak bir etkileşim öğrenme yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem hem aksiyon tanıma hem de insan-robot hareket koordinasyonuna izin verir. İnsan-robot etkileşim ilkelerinin bir karışım modeli oluşturmak için taklit öğrenmeyi kullanır. Deneysel çalışma hafif bir robot koluyla robotun insanla ortak çalışma ortamında bir tornavidayı gerektiğinde vermesi veya tornavidayla yardımcı görev üstlenmesi şeklinde bir senaryo ile gerçekleştirilmiştir. Yeni yöntemin kullanılmasıyla görev tanınmanın %60 lara kadar gerçekleşmesi sağlandı. Aynı şekilde tepki süresinin %25 oranında azaltıldığı gözlemlendi. Öğrenme ve görev belirleme için Gizli Markov Modeli kullanılmıştır [37]. İnsan robot etkileşimine yönelik bir çalışma Mondada ve diğ. Çoklu robotlarda görevlendirme amacıyla hangi robotun seçileceğini EEG sinyalleriyle belirleme üzerine bir çalışma sunulmuştur. Literatürde ortalama başarımın %85 olduğu, ancak frekansa göre bu oranların değiştiği saptanmış. 12 Hz'lik frekansta tanınmanın %40, 10 Hz'lik frekansta %75, 8 Hz'lik frekansta ise %98'lere ulaştığı belirlenmiştir[38].

Micea ve diğ. Ortak çalışan sistemlerde birden çok mobil robot arasındaki özerk mesafe hesaplama probleminde odaklanmaktadır. Uzaklık ölçümü ve konum denetimi, mobil arama ve izleme, akıllı ortamlar ve binalar, tehlikeli veya zor alanlarda manipülasyon, kurtarma gibi birçok alanda doğrudan uygulanabilirlik ve kolaylık sağlamaktadır. Mesafe hesaplamak için radyo frekansı ve ultrasonik sinyallerin yayılım hızlarının varış zaman farkı kullanılmış. Deney sonucunda hata oranının 30 mm'ye kadar düştüğü maksimum hatanın ise 4,8 olduğu görülmüştür[39].

Guerre ve diğ. Görsel lokalizasyon ve haritalama probleminde (SLAM) yönelik Genişletilmiş Kalman Filtresi ile entegre bir yaklaşım sunulmuştur. Kamera ve görme teknikleri kullanılmış. Kameradan iki farklı görüntü alınarak bunların örtüşmesi üzerine bir çalışma yapılmış. Önerilen yaklaşımla 1 m'den daha düşük bir hatayla hedefe ulaştığı gözlenmiştir[40].

J.Disprose ve diğ. Robot programlayıcılara, robotları sosyal olarak etkileşime geçirecek uygun programları oluşturması için hangi davranışların hangi durumlara uygun olduğunu ortaya koyacak soyutlama düzeylerinin bilinmesi üzerine bir API çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu soyutlama düzeylerine göre uygun API'lerin geliştirilmesiyle yinelemeli ve benzer durumların daha kolay ve daha az zamanla yüksek kalitede programlanması amaçlanmıştır. Deneysel olarak yüksek ve düşük seviyeli geliştirilen API'lerin testi gerçekleştirilmiş. Sonuç olarak, geliştirilen yapının basit gösterimi, sosyal etkileşim alanına yakın bir haritalama ve iyi karşılık verebilen ifade gücü sağladığı ancak çok yüksek düzeyde olması alt düzeyde geliştirmeyi kısıtlayabildiği tespit edilmiştir[41]. Benzer bir çalışma M. Tenorth ve M.Beetz. Robotların soyut talimatlarla yapması istenen görevlerde tanımlama, çıkarım ve yürütme yapabilmesi için farklı bilgi işleme metodlarıyla oluşturulmuş Know Rob adlı birleşik bir çerçeve yaklaşımı sunulmuştur. Bu çerçeve ile talimatlardaki gereksiz bilgiler ile yürütülmesi istenen bilgilerin ayırt edilmesi hedeflenmiştir [42].

R. M. Ferrús ve M. D. Somonte. Kişisel bakım robotlarının tasarlanmasında çeşitli yaş gruplarının ihtiyaçlarının belirlenmesi üzerine bir analiz çalışması sunmuşlardır. Araştırmada iki önemli faktör üzerinde

durulmuş. Birincisi robotun ne tür bir kişilik sahibi olması, ikincisi robotun nasıl bir model olarak algılandığı üzerinedir. Deneysel çalışma bir temizleme robotu üzerinden yapılmış. Analiz başlıklarına göre puanlamada öne çıkan başlıklar sırasıyla robotun kendini şarj edebilmesi, çeşitli cihazlarla kolay kullanım, engel tanıma ve izleme, istenilen görevler için teknik özelliklere sahip olması, görevleri kendi başına yapabiliyor olması, kaliteli materyallerle oluşturulmuş olması ve uygun maliyetle satılması şeklindedir[43]. Aynı zamanda benzer bir çalışmada E. R.Lizundia ve diğ. Scarino gibi belboy robotların gelişimlerinin iyileştirilmesi amacıyla insanlarla olan etkileşim ve konforlarının ne düzeyde olması gerektiğiyle ilgili bir analiz çalışması sunulmuşlardır. Etkileşimin mesafesi, süresi ve etkinliği üzerine üç ayrı faktörü üzerine durulmuş. Genç ve yaşlı insanların orta yaşlılara ve çocuklara oranla daha çok iletişimde bulunduğu tespit edilmiş. Ortalama iletişim mesafesi 68.58 cm olarak, jest hareketlerinde 25 cm kadar yakınlaştığı belirlenmiş[44].

Sejati ve diğ. Çoklu mobil robotların grup takımlarını belirleme ve nesne taşıma üzerine yeni bir algoritma önermişlerdir. Çoklu robotlarla yapılan çalışmalarda görevin zorluğuna ve niteliğine göre ne kadar robot kullanılacağı güç tüketimi ve organizasyon karmaşıklığı açısından önemlidir. Bu algoritmayla göreve göre nesne şekil ve boyutlarının tespiti ve buna bağlı olarak yeterli sayıda robotların belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncü bir robot ile keşif yapılıp ve buna göre görevlerin gerçekleştirimi sağlanmış. Algoritma bir nesne taşıma uygulamasıyla ortaya konmuş[45].

F.Liu, Mobil robotların çoklu hedefe gidilen yollardan en yakın ve uygun yolu bulması için yeni bir uyarlanmış genetik algoritma önermiştir. Bu yöntem ile gereksiz gezinme olayı sonlanmış ve güç tüketimi uygun seviyelere getirilmiştir. Deneysel çalışmalarda sonuçların farklı nesillerde elde edildiği gözlemlendi. Nihai sonuçların 40 nesilde ortalama sonuca ulaştığı, en iyi sonucun ise yaklaşık 62 nesilde olduğu gözlemlendi. Algoritmanın yapısına bağlı olarak yaklaşık sonuçların oluştuğu belirlendi[46].

Das ve diğ. Çoklu robotların birbirleri arasındaki haberleşmeyi daha etkili gerçekleştirmesi için bal arılarının iletişim için kullandıkları dansa yönelik MRoCS iletişim sistemi önerilmiştir. Hareket için genellikle geometrik hareket şekilleri temel alınmıştır. Bu geometrik hareketlerin başarımları sonucunda daha ileri olarak bal arılarının esnek hareketlerinin yapılması ve genelde kullanılan iletişim yöntemlerinin başarısız olduğu durumlarda iletişimi devam ettirmesi noktasında yararlı olması hedeflenmiştir[47].

I. Vasilyev ve diğ. Aşırı hava şartları altında kurtarma operasyonunda tahliye amaçlı kullanılan özerk çoklu robotların grup halinde sorunu çözmesine yönelik yaklaşımlar incelenmiştir. Robotların görev ile ilgili güvenilirliğinin artırılmasının yolları belirtilmiştir. Güvenirlilik için yedeklilik ve değiştirilebilirliğin güvenilirliği arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu kriterlerle görevin kararlılığının ve devamlılığının sağlandığı belirlenmiştir[48].

T.Abukhalil ve diğ. Çoklu robotların görev dağılımını optimum robot sayısına atayan, hata toleranslarını en aza indirecek, başarısız robotların görevlerini üstlenecek RUTA adlı bir yazılım uygulaması sunmaktadır. Böylece başarısızlıkların kötü sonuçlar doğuracağı görevlerde daha sağlam ve güvenilir robot grup çalışmalarının yapılması sağlanmış olacağını vurgulanmıştır. Deneysel çalışmada 5 robot ve 15 insan kuklasıyla kurtarma operasyonu yapılmıştır. Ekibin görevi 100.2 saniyede ortalama 10.3 saniyelik beklenen zamana göre sapmayla gerçekleştirdiği ve olumsuz durumlara rağmen görevlerin başarıyla tamamlandığı gözlemlenmiştir[49].

A.Prasad ve diğ. Dinamik engellere göre bir robotun otonom olarak hareketini ayarlaması üzerine potansiyel fonksiyonlar ve dipolar ters Lyapunov fonksiyonlar ile yeni bir model çalışması sunmaktadır. Bu çalışma ile hem birbirlerine çarpma hem de engel önlemlerini göz önüne alan bir hareket planlaması hedeflenmiştir. Sunulan model sistemin başlangıç koşullarından bağımsız olarak sistemin asimptotik kararlılığını sağladığı öne sürülmüştür[50].

Y. Dai ve diğ. Çoklu robotların hareketleri sırasında birbirlerine çarpmamaları için kendi yarıçaplarına ve büyüklüklerine göre bir kafes alan tasarımı yapılmıştır. Kayma kipli kontrol tasarımı ile nesneyi hedef pozisyona taşınması hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda hedefe önceki çalışmalara oranla daha az hata ile yaklaştığı gözlemlenmiştir[51]. S.Trigui ve diğ. Çoklu görevli çoklu robotların görev paylaşımını en iyi şekilde yapması üzerine birden fazla kriteri tek bir kriter gibi alarak optimize eden iki merkezli bulanık mantık yaklaşımlı çözüm modeli sunulmuştur. Bu yaklaşımda her ajanın aynı görevi yapması veya görevi gerçekleştiren her ajan için yerel bilgiye dayalı görev tanımlanması hedeflenmiştir. Deneysel sonuçlara göre tek kriterli çözüme oranla %89 oranında daha hızlı olduğu belirlenmiştir[52]. Çoklu görevlilik konusunda bir başka çalışma M. Khawaldaha ve A.Nucther tarafından çoklu keşif robotlarının arama görevlerini gerçekleştirmek ve keşif sürelerini en aza indirmek amacıyla çakışmayı engelleyerek hareketlerini sağlamaları, çevre durumlarını ve yol planlamalarını daha hızlı hesaplamaları üzerine gerçekleştirilmiştir [53]. B.Das ve diğ. Su altı otonom çoklu robotlarının koordineli hareket etmesi için Lyapunov teorisine dayalı kayma kipli kontrol adaptif kontrolör ve algoritması üzerine bir çalışma sunulmuştur. Özellikle su altında iletişim ve istenilen görevlerde bilgi paylaşımı üzerine odaklanılmıştır. Pasiflik tabanlı denetleyiciyle kıyaslaması yapılmıştır. İstenilen hareket yörüngesinin önerilen yaklaşımla daha kısa sürede ve doğrulukta alındığı doğrulanmıştır[54].

H.Sugiyama ve diğ. Felaket alanlarında çoklu robot kurtarma sistemi geliştirmesi üzerine bir çalışma sunulmuştur. Bu çalışmada her robot kendi bölgesini keşfeder ve bir baz istasyonu yardımıyla birbirleriyle bilgi paylaşımı ve iletişimi gerçekleştirirler. Geçici iletişim ağı kurulması ve haritalama bu çalışmanın temel amacı[55]. Hoshino ve diğ. Çoklu robotların koordinasyonu, hareketi için hız ve davranış düzenleme yaklaşımı sunmaktadır. Hareket sırasında kalabalık olan robotların çarpışmalarını ve birbirlerini tıkamalarını engellemek için davranış kontrol tekniği önerilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre yaklaşım hatası 0.4 m'den fazla olmadığı saptanmıştır[56]. S. Gil ve diğ. Birden fazla robotun bir görev üzerinde işbirliği yaptığı ve araçların sabit bir alt kümesinin mobil yönlendiriciler olarak hareket ettiği sistemde sinyal gücüne göre birlikte hareket ve yönelim yapılması üzerine bir çalışma sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmada sinyal gücü yüksek olana göre hareket yapılmasının başarıyla sağlandığı gözlenmiştir. Bu yöntemle kesin istemci konumlarını veya çevre hakkında bilinen bir harita bilgisi ortadan kalkmıştır[57].

O. Kosak ve diğ. Özerk sürü robotlarının gerçek dünyadaki sorunlara karşı ortamı tanıma, kendini fark etme, aynı anda verilen birden fazla görevi yerine getirebilme becerisi gösterme üzerine özerk ajan tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Deneysel çalışmada zehirli gaza maruz kalmış bir bölgede insanların giremeyeceği yere insansız hava araçlarının gönderilip bir dizi görevi yerine getirilmesi senaryosuna göre n robota n görevin dağıtım optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar kısıt çözücünün mümkün olduğunu göstermiştir. Özellikle görevleri daha detaylı tanıma ve görev atamalarını yapmanın özerkliği arttıracığı gözlenmiştir[58].

A. Kılıç ve S. Kapucu. Makalede, OMNIMO adlı dört dönme 1 öteleme serbestlik derecesinde özerk çalışabilen bir robot modül tasarımı sunulmuştur. Bu modül sayesinde tekli ve çoklu robot sistem üretkenliği sağlama açısından beş farklı şekilsel robot haline dönüşüm yapılabilme imkanı sağlamıştır. Tekli homojen modül konfigürasyonunun testlerle özdeş robot parçalarıyla başarılı bir şekilde yapılabileceği tespit edilmiştir.[59]

Kızır ve diğ. Beyin cerrahisinde kullanılan endoskop stewart platformunun, haptik güdümlü endoskop konumlayıcı ve tutucu olarak hipofiz bezi cerrahisinde kullanımı üzerine bir çalışma ortaya koymuşlardır. Bu çalışma ile bu alanda kullanılacak haptik sistemin etkileri üzerinde durulmuş. Konumlandırma özelliklerine göre bu cerrahi çözümlerinde kullanılabileceği görülmüştür[60].

H.Saeidi ve diğ. Lider tabanlı çoklu robotlarda, haptik sistemle güvene dayalı lider seçimi üzerine bir çalışmadan bahsedilmiştir. Robotların dinamik olarak liderlik güven performansları hesaplanarak geri bildirim ölçekleme stratejisi ile operatöre iletilir. Operatör fiziksel yük kuvvetini ayarlayarak kontrol eder. İnsanın rasyonel karar verme özelliğine göre göreve ve ortama uygun lider seçimi belirlenerek sistem çalışır. Yapılan deneysel çalışmada, sabit lider ile güven tabanlı lider seçimi stratejisi arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre güven tabanlı lider seçimiyle görev tamamlama süresi %36.25 ve oluşum hatasının %41.64 azaldığı belirlenmiştir[61].

M.Rahul ve diğ. Bir haptik sistem ile tekerlekli mobil robotun uzaktan kontrolü üzerine yarı özerk bir sistem çalışmasından bahsedilmiştir. Bu çalışma ile insanların bulunmasının zor ve tehlikeli olduğu yeraltı, uzay, su altı, tıp cerrahisi, radyoaktif ortamlarda kullanılan robotların kontrolü için hassas kontrol modellemesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada Omni-Bundle haptik aygıtı ile Q-Bot 2 mobil robotu kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarda, tekerleklerin kayma ve sürtünmeden dolayı izleme hatası oluşturmasına rağmen istenilen yörüngeden hareket ettiği ve duyarlılığın çok yüksek olduğu görülmüştür[62].

H. Saeidi ve diğ. Uzaktan kumanda haptik sistemli mobil robot kontrolünde çift yönlü güven performansına dayalı kontrol sistemi sunulmuştur. Belirsiz ortamlarda kumanda edilen bir robotun insan rehberliğinde çeşitli bozucu ve engelleyici etkilere karşın başarısı elde ölçülmüştür. Robotun kontrolü dokunsal kuvvet geribildirimleriyle yapılmıştır. Geri bildirimler ölçekleme stratejisine göre yapılmıştır ve kontrol hassasiyet yoğunluğunun ayarlanmasında kullanılmıştır. Böylece küçük ve büyük güç algılamaları duruma ve kullanıma göre ayarlanarak fiziksel yükün azalması sağlanmıştır. Manuel kullanımlara göre %12. Performans artışı ve operatör iş yükünde %10.7 azalma olduğu saptanmıştır[63].

M.Kütük ve diğ. Kuvvet geri beslemeli bir haptik sistem ile üst ekstremité rehabilitasyon robotlarının kullanıcının fiziksel özelliklerini dikkate alarak çalışması üzerine dokunsal algılamalı kuvvet geri beslemeli bir uygulamadan bahsedilmiştir. Kullanılan robotların uygulayacağı yörüngeyi, öncelikle haptik aygıt ile hastanın ilk kullanımıyla öğrenmesi ve daha sonra tekrar eden uygulamalarda aynı şekilde hastaya uygun devam etmesini sağlayan bir sistem sunulmuştur. Sistemin arayüz simülasyonu ile rehabilitasyon tedavilerinde ve cerrahi müdahalelerde hassas kontroller sağlayacağı ortaya konmuştur[64].

A. Surendran ve Mija. Bir haptik cihazın doğru konum takibi için kayma mod kontrolörlü bir yapının geliştirilmesinden bahsedilmiştir. Bu sistem ile sistemin değişen dinamikleri dikkate alınarak devamlı ve kararlı bir kontrol yapısı önerilmiştir. Bu sistem sayesinde değişme ve bozulma durumlarına rağmen izleme hatası sıfırlanarak uygun yörünge oluşumu ve devamlılığı sağlanmıştır. Deneysel çalışmaya göre izleme hatası 4.5 saniye sonra sıfıra ulaşmıştır[65].

N. Popescu ve diğ. Serebrovaküler kaza travması geçiren hastaların etkin rehabilitasyonu için geliştirilen haptik eldiven tasarımı ve analizi üzerine bir makale sunulmuştur. Tasarlanan eldiven sese göre çalışacak şekilde tasarlanmış. Hastanın sesinin tanınması ve buna göre belirlediği komutlara göre eldivenin çalışması ayarlanmış. Araştırmanın analiz sonuçlarına göre basit komutların algılanmasında tam başarı varken, birden fazla kelimeyle oluşturulan karmaşık komut tanımlamalarında gürültülerin etkilerinin olumsuz etkilediği gözlenmiştir[22].

H.Wei ve diğ. ROS (Robot Operation System) robot işletim sistemi robotların kontrolü için tasarlanmış Linux tabanlı bir işletim sistemidir. Bu makalede işletim sisteminin gerçek zamanlı uygulamalarındaki eksikliklerini gidermek amacıyla RT-ROS adlı yeni bir ROS mimarisi sunulmuştur. Sonuçta, gerçek zamanlı uygulamalarda ve farklı işlemci platformlarında etkinliğinin yüksek olduğu görülmüştür[66].

Biyolojik ilhamlı robot alanda yapılan en son çalışmalardan biri Harvard ve Seoul National üniversiteleri tarafından su üzerinde ince eklem bacaklarıyla durabilen, sıçrayabilen su tutucu robottur [67].

M.A.Woodward ve M Sitti. Vampir yarasalardan esinlenerek MultiMo-Bat adlı atlama ve kayma entegrasyonlu bir robot tasarımından bahsedilmiştir. Bu robot yapısı ile ortam izleme, güvenlik gibi uygulamalarda kullanılması hedeflenmiştir. Yaklaşık 3 m'ye kadar zıplama özelliğine sahip. Bu çalışmada özellikle atlama performansının yaklaşık %80'ini koruyabildiği gösterilmiştir. Bu sayede çok yüksek sürüklenme önlenmiştir. Geri kalan %20 ise kaymada sistemin kütesinden kaynaklı olarak gerçekleşmiştir[68].

Y.Mulgaonkar ve diğ. Havadaki küçük ölçekli sürü robotlarında çarpışma önleme algoritmalarına bağlı kalmadan çarpışma yeteneğini ve sağlığını geliştirme üzerine bir uygulama sunulmuştur. Basit çarpışma modelleri kullanılarak çarpışma davranışlarının ve kontrol stratejilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede daha hızlı ve çevre hakkında çok fazla bilgiye ihtiyaç duymadan yüksek hareket performansı gerçekleştirmesi sağlanmıştır[69].

L.S.Junior ve N.Nedjah. Sürü robotlarının birlikte hareketi ve ortak görev yürütümü için dalga sürüsü algoritmalarına dayalı yeni bir toplu hareket stratejisinden bahsedilmiştir. Bu stratejide sürü dağılık olarak dikkate alınmıştır. Asıl karmaşık ortak görevler bir dizi basit alt görevlerin birleşimi olarak düşünülerek gerçekleştirilir. Simulasyonda strateji robotların seçimi, hizalanması ve hareket stratejileri şeklinde 3 alt görev ele alınarak oluşturulmuş. Bu şekilde daha organize, hızlı hareket ettiği gözlenmiştir[70]. A.Ravelli ve diğ. Balık yetiştiriciliğinde çiftliklerin pH seviyesi, sıcaklık, amonyak, hidrojen sülfür gibi kimyasalların düzeylerinin takibi için tasarlanmış bir balık robottan bahsedilmiştir. Balık robotun balıkları rahatsız etmeden uygun hızda ve kuyruk hareketinde bulunması için pH bilgisine dayalı yüzme stratejisi geliştirilmiştir. Elde edilen bilgilerle balıklara yönelik oluşacak olumsuzluklar önceden tespit edilmesi sağlanmıştır [71].

J.Zang ve diğ. Çekirge ilhamlı bir atlama robotun modellenmesi üzerine bir çalışma sunulmuştur. Atlama için yaylı bir mekanizma kullanılmış. Düşüşte dengede kalması için ek bir kol bacağı ve dönmeyi dengeli yönlendirme için kutup bacağı geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda 80 derecelik bir kalkışta 88 cm'den daha fazla dengeli bir şekilde atlayabildiği gözlenmiştir. Enerji verimliliğinin %49.9 olduğu ve atlama sırasında %83.4'ünün serbest bırakıldığı, %35.5'lik enerjinin ise kaybolduğu belirlenmiştir. Enerji kaybının robotun dönme mekanizmalarındaki sürtünme olduğu tespit edilmiştir[72].

Y. Liu ve diğ. Serica orientalis böceğinden esinlenerek T şeklinde iki tekerlekli ve bir kuyruktan oluşan tekerlek etrafında küçük dikenlerin bulunduğu beton tuğla üzerine tırmanabilen Tbot adlı duvar tırmanma robotundan söz edilmiştir. Geliştirilen bu modelle omurgaya etki eden kuvvet ve kendini oluşturan yapılar arasındaki yük paylaşımını analiz edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda 100°'lik bir duvara 10 cm/s hızla çıkabildiği gözlenmiştir[73].

S.Martel ve diğ. Tümörlü ve kanserli hastaların tedavisinde magnetotaktik bakteriler şeklinde terapötik, kendinden tahrikli ve duysal tabanlı ajan mikro nano robotların geliştirilmesi üzerine bir araştırma çalışması sunulmuş. Amaçlanan tümörlerin tespiti ve nano robotların enjekte edebileceği ilaçlarla etkisiz hale getirilmesi olarak ifade edilmiştir [74]. Benzer bir çalışmayı M. Al-Fandi ve diğ. bio nano sensör ile kanser hücrelerinin tespiti için gerçekleştirmişlerdir [75].

C. Hu ve diğ. Çekirgelerden ilham alınarak mikro robotlar için engel önleme ve hareket yörünge kontrolü için düşük maliyetli yeni bir görme sistemi sunulmuş. Yapılan deneylerde çevreye uyum sağlama noktasında güç sağlığına sahip olduğu ve gerçek uygulamalarda başarıyla kullanılabileceği tespit edilmiştir[76].

C. Tang ve diğ. Mikro- nano robotların hangi alanlarda araştırma konusu oluşturduğu ve acilen çözülmesi gereken zorlukların tespiti üzerine bir çalışma sunulmuştur. Araştırmada, mikro nano robotların tıp, imalat, biyoloji, biyomedikal, mikrobik hareket sistemleri, mikro organizmaların ve dokuların kombinasyonu ve zarar vermeden sistemlerde dolaşımı, yazılımlı veya yazılımsız görev gerçekleştirilmesi, güç teminleri, iletişimleri, küçük boyutlarda tasarımı gibi alanlarda çalışma sahası bulunduğu tespit edilmiştir[77].

3. Robotların Kullanım Alanlarına Göre Karşılaştırılması

Bu bölümde incelenen çalışmalar ışığında robotlarla ilgili son yıllarda hangi alanlar, konular, yöntemler ve algoritmalar üzerine çalışmaların yoğunlaştığı tablo şeklinde özetlenmiştir.

Tablo1. Robotların sınıflarına göre karşılaştırılması ve analizi

Robot sınıfları	Kullanım alanları	Çalışma konuları	Kullanılan algoritma ve sınıflandırıcılar	Donanımsal algılama sistemleri	İlgili literatür	
Endüstriyel Robotlar	Endüstride montaj, imalat, taşıma, nakil	Robot kol uzayları, otonom çalışma, kavrama, uygun pozisyon alma, robot kolun iş ile uygun zamanlamada çalışması, gereksiz işlemlerin en aza indirilmesi, güç tasarrufu, doğru pozisyon alma, tekrar eden hareketlerin devamlılığı, eklemlerin esnekliği	Ters kinematik, düz kinematik hesaplamalar, denge, güç ve hareket yörünge algoritmaları	Kamera, eklem motorları, ses tanıma, hibrit güç üniteleri, eklem yapıları	[24,25,28,31,, 45, 59]	
Mobil Robotlar	İnsansı Robotlar	Ev, ofis ve hizmet sektörlerinde, tehlikeli ortamlarda, askeri alanlarda	Dengede kalma, tırmanma, iki ayak senkron yürüme stratejisi, ayak hareket koordinasyonu, güç tasarruf stratejileri, robot görmesi, tehlikeli ortamlarda gezinme, asker robot uygulamalarında	Kamera, eklem motorları, ses tanıma, hibrit güç üniteleri, ses cihazları	[23,26,27,28,29,32,33,35, 43,44, 59]	
	İşbirlikçi Robotlar	Ev, ofis, hizmet sektörlerinde insanla ortak yaşam, endüstriyel ortamda işbirlikli çalışma, tıp ve tarımda, güvenlik	İnsan nesne etkileşimi, insan insan etkileşimi, insan robot iletişimi, duyuşsal algılamalar, sözlü ve sözsüz iletişim, insan hareketlerini anlama, rehabilitasyon cihazlarında uyumlu destek, heterojen robotların işbirliği, EEG robot kontrolü, insan robot ara yüzleri	Kamera, Kinect sensörü, dokunmatik sensörler, eeg, emg cihazları, kuvvet sensörleri, renk sensörleri, 3D sensörü	[7,10,20, 23-35, 41- 46, 58]	
	Çoklu ve sürü robotlar	Tehlikeli ortamlarda, alan haritalamada, karmaşık görevlerde, bilinmeyen ortamlarda, uzay, askeri, havacılık ve güvenlik alanlarında	Ortak senkronize hareket, çarpışma engelleme, görev paylaşımlı çalışma, otonom çalışma, bilinmeyen ortamlarda hedefe en uygun yolla hareket, engellere çarpmadan ilerleme, çoklu ve sürü robotların iletişimi, güç tasarruflu görev planlaması, alan haritalama (SLAM) uygulamaları, otonom çalışma, göreve göre sürü sayısının belirlenmesi ve güncellenmesi, sürü canlıların hareketlerinin ve yiyecek arama stratejilerinin incelenmesi, yapısına uygun algoritma tasarımı, kontrol için işletim sistemi robotlar arası iletişim	Genetik algoritma, Parçacık sürü algoritması, bulanık mantık, YSA, dalga sürü algoritması, dipolar ters lyapunov fonksiyoları, çarpışma önleme, Gizli markov modeli, SLAM algoritmaları genişletilmiş ve dağıtılmış kalman filtresi,	Ultrasonik, lazer mesafe sensörleri, kamera sistemleri, lidar lazer sistemleri, WSN -RF iletişim araçları, Xbee, geçici baz istasyonları	[4,10, 34, 38, 40, 49-54, 57,58 61,69, 70]
	Biyolojik ilhamlı	Uzay, askeri, tıp, biyoloji, mekanik tasarım	Canlıların birebir özellikleriyle benzetimi, sorunları çözme yöntemleri, kendi ortamlarındaki davranışların analizi, insanlar için benzer sorunlara çözüm yaklaşımları	Sensör hassas algılama algoritmaları, sınıflandırıcılar, güç algoritmaları	Kamera, ses, kamera, eklem yapıları, kimyasal tespit	[9, 19, 68, 69, 72,73, 76]
	Mikro Nano	Tıp alanında, duyarğalarla	Canlı vücudunda dolaşma, bilgi alma, onarım stratejileri geliştirme,	Hasarlı veya bozuk dokuların tespit yaklaşımları	Ses, sıcaklık vb. duyu algılama sensörleri, iletişim sistemleri, mikro kameralar, hareket mekanizmaları	[27, 74, 76, 77]
	Haptik Sistem	Haptik sistem	Tıp cerrahisinde kontrol mekanizmalarının oluşturulması, uzay ortamında uzaktan manipülasyon kontrolü, tehlikeli ortam manipülasyon kullanımı, sanal ortam simülasyon uygulamalarında, kontrollerin hassas ve senkron kullanımı, haptik algılayıcı tipleri, kontrol arayüz tasarımı	Sensör hassas algılama algoritmaları, manipülasyon insan iletişim arayüz yazılımları,	Kuvvet sensörleri, giyilebilir eldiven manipülasyon, eeg ve emg araçları,	[20, 22, 27,31, 33, 43, 61-66]

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, robotlarla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Robotların kullanım alanlarının genişlemesi çözülmesi gereken sorunların artmasına da neden olmuş ve gerçek dünyanın algılanması, insanlarla iletişim ve işbirliği içerisinde iş yapabilme yeteneği kazandırmak temel konular olarak ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte aşağıda belirtilen alanlarda çeşitli problemlerin çözümüne yönelik olarak çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır:

Robotlarda formasyon oluşumu ve birlikte koordineli hareket: Robotların belirlenen göreve ve gidilecek hedefe göre sürü halinde birlikte hareketleri sırasında ne tür bir dizilim ile gidecekleri veya şekilsel hareket edecekleri, robotların sayısına göre karmaşık şekiller oluşturarak hareket etmektense birden fazla alt şekilli gruplar oluşturarak hareket planlamak, sürü halinde yapılan formasyon uçuşlarında birbirlerine çarpmamak, hedef noktaya giderken formasyonun korunması, formasyon uçuşlarında lider takipçi hedefe yönelme ve liderin takibi gibi konular üzerine çalışmalar yoğunur.

Görev tahsisi: Belirlenen görevlerin robotlara yapısal özelliklerine ve görevin niteliğine görev paylaşımı, görev tahsislerinde kontrol istasyonlarının en doğru noktada bulunarak iletişimin kesintilerini önleyecek şekilde bulunması, dağılma, toplanma, koordineli hareket kabiliyetleri.

Robot sürülerinde lider seçimi: Hangi robotun lider olacağı önemlidir. Lider seçimi rastgele mi, yoksa robotun özelliklerine veya görevin niteliğine göre mi seçilmeli? Seçilen liderin takibi nasıl yapılmalı?

Hareket sırasında engellere ve birbirlerine çarpmaması: Çoklu robotların birlikte veya dağınık, birbirlerine bağımlı veya bağımsız hedefe yönelimlerinde çarpışmaları görevin başarımında en önemli konulardan biridir. Hareket ortamındaki engellerin algılanması ve kaçınma hareketlerinin geliştirilmesi

Ortam haritalama ve konumlandırma: Robotlarda yapılan çalışmalarda robotların bilinen veya bilinmeyen ortamlarda kendi konumlarını ve diğer robot veya nesnelere konumlarını bilmeleri, görev ortamlarının lidar, kızılötesi, termal vb. aygıtlarla görevin niteliğine göre algılanıp, takip edilmesi, hedefe yönelimde belirlenen güzergâhın izlenmesinde konum sapmalarının en aza indirilmesi, GPS'siz ortamlarda konum belirleme, görüntü tabanlı konum belirleme.

Hedefe en iyi rotayla varma ve navigasyon: Belirlenen başlangıç ve hedef nokta arasında sistemin ve görevin yapısına göre en kısa veya uygun rotanın belirlenmesi gereksiz hareketlerden kaçınmayı sağlama, navigasyonun ortamın dinamiklerine göre yenilenebilir olması.

Görev planlama ve koordinasyon: Belirli sorunlara yönelik görevlerin oluşturulup çoklu robotlarla koordineli olarak belirli bir plan ile çözülmesi, görev planının devamlılığının sağlanması.

Robotlarda yapay zekâ: Robotların öğrenebilme ve karar verebilme durumlarının otonom oluşumlarda yapay zeka algoritmalarıyla çözümlenmesi.

Robotların birbirleriyle iletişimi: Robotların birbirleriyle iletişimi şu anki teknolojilerle sınırlıdır. Bu iletişim için uygun bir yapının oluşturulması gereklidir. Var olan iletişim araç ve yöntemlerinde önemli bir konuda verilerin gecikme durumudur. İletişim kopmalarında görevlerin veya verilerin tahmini oluşumları.

Robot programlama, donanımsal yapıların kolay kullanımı için yazılımsal çözümler ve robot işletim sistemleri: Robotların gerçek zamanlı kullanımları için genelde veya özelde görevlere uygun işletim sistemlerinin veya platformların geliştirilmesi ve bu yazılımların donanımları tanıma ile veri alışverişindeki başarımları önem arz etmektedir. Robot çalışmalarının genelde simülasyonlar ile teorik olması ve uygulama maliyetlerinin yüksekliği geliştirilecek sistemlerin gerçekte hangi başarımlarda ve sonuçlarla var olduğunun bilinme gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu anlamda gerçek dünya tasvirli ve ortam ayarlamalı simülasyon yazılımlarının geliştirilmesi bu alandaki eksikliklerden biridir. Tüm robotların ve donanımların ortak kullanılabileceği bir dilin varlığı gerekli olan durumlardan biridir.

Kaynaklar

- [1] Acar M., İki Ayaklı Yürüme Hareketinin Modellemesi ve Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [2] Çayırpunar Ö. , Çoklu Robot Sistemlerinde Robotlar Arası Haberleşme ve İşbirliği Kullanılarak Arama Verimliliğinin Artırılması, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [3] Yapıcı K. O., 14 Serberstlik Dereceli İki Ayaklı Bir Robotun Dinamik Yürüme Hareketinin Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [4] Wang T., Dang Q. ve Pan P., A Multi-Robot System Based on A Hybrid Communication Approach, c. 1, sayı 1, ss. 91–100, 2013.
- [5] Kara M., Oğul Robotları Yön Bulma Problemi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [6] Bahadır L., A Probabilistic Geometric Model Of Self Organized Aggregation In Swarm Robotic Systems, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.

- [7] Oh H., Ramezan A., Sun C. ve Jin Y, Bio-inspired self-organising multi-robot pattern formation : A review, *Rob. Auton. Syst.*, c. 91, ss. 83–100, 2017.
- [8] Technique M., Bucharest U. P ve Technique M., *Research in Micro-Nano Robotics*, sayı 46, ss. 83–90, 2014.
- [9] Rozo D., Silverio L., Caldwell J., “Learning Controllers for Reactive and Proactive Behaviors in Human – Robot”, c. 3, sayı June, ss. 1–11, 2016.
- [10] Bloesch P ve Fankhauser M., *Collaborative Navigation for Flying and Walking Robots*, sayı August, 2016.
- [11] Çakmak T. T., *Robotlar*, ss. 15-20, 2006.
- [12] Şahin Y., *Scara Tip Bir Robotun Yörünge Kontrolünde PID Kontrol Uygulaması*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [13] Christensensen J. L. ve Nielsen J., *Development Modeling and Control of A Humanoid Robot*, Aalborg University, Master’s Thesis, 2007.
- [14] Park I., Kim J., Lee J. ve Oh J., *Mechanical Design of Humanoid Robot Platform KHR-3 (KAIST Humanoid Robot - 3 : HUBO)*, c. 3, ss. 321–326, 2005.
- [15] Tuna G., *Çoklu Algılayıcı Füzyonunun Çoklu Robot Sistemlerinde Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama Proglemine Uygulanması*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2012.
- [16] Akyol S. ve Alataş B., *Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları*, c. 1, ss. 36–50, 2012.
- [17] Bakhshpour M., Ghadi M. J. ve Namdari F., *Swarm robotics search & rescue: A novel artificial intelligence-inspired optimization approach*, *Appl. Soft Comput. J.*, 2017.
- [18] www.robotpark.com.tr/blog/tum-robot-tipleri/nano-robotlar. erisim:22.12.2017 .
- [19] Wang L., *Collaborative robot monitoring and control for enhanced sustainability*, ss. 1433–1445, 2015.
- [20] Dionisio V. C. ve Brown D. A., *Collaborative robotic biomechanical interactions and gait adjustments in young , non-impaired individuals*, ss. 1–13, 2016.
- [21] Rozo L, Calinon S., Caldwell D. G. ve Jim P., *Learning Physical Collaborative Robot Behaviors From Human Demonstrations*, c. 32, sayı 3, ss. 513–527, 2016.
- [22] Popescu N., Popescu D., Cozma A. ve Vaduva A. J., *Hardware design and implementation of an Intelligent Haptic Robotic Glove*, *EPE 2014 - Proc. 2014 Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng.*, sayı Epe, ss. 174–177, 2014.
- [23] Canal G., Escalera S. ve Angulo C., *A real-time Human-Robot Interaction system based on gestures for assistive scenarios*, c. 149, ss. 65–77, 2016.
- [24] Cherubini A., Passama R., Crosnier A., Lasnier A. ve Fraisse P., *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Collaborative manufacturing with physical human – robot interaction*, c. 40, ss. 1–13, 2016.
- [25] Skantze G., *Real-time Coordination in Human-robot Interaction using Face and Voice*, c. 37, sayı 4, ss. 19–31, 2016.
- [26] Sigalas M., Baltzakis H. ve Trahanias P., *Temporal gesture recognition for human-robot interaction*.
- [27] Burke M. ve Lasenby J., *Pantomimic Gestures for Human – Robot Interaction*, c. 31, sayı 5, ss. 1225–1237, 2015.
- [28] Makris S., Tsarouchi P., Surdilovic D. ve Krger J., “Intuitive dual arm robot programming for assembly operations”, *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, c. 63, sayı 1, ss. 13–16, 2014.
- [29] Pinillos R., Marcos S., Feliz R., Zalama E. ve Gómez-García-Bermejo J., *Long-term assessment of a service robot in a hotel environment*, *Rob. Auton. Syst.*, c. 79, ss. 40–57, 2016.
- [30] Kennedy J., Baxter P. ve Belpaeme T., *Nonverbal Immediacy as a Characterisation of Social Behaviour for Human – Robot Interaction*, *Int. J. Soc. Robot.*, c. 9, sayı 1, ss. 109–128, 2017.
- [31] Leica P., Roberti F., Monllor M., Toibero J. M. ve Carelli R., *Control of bidirectional physical human – robot interaction based on the human intention*, *Intell. Serv. Robot.*, c. 10, sayı 1, ss. 31–40, 2017.
- [32] Li S. ve Zhang X., *Implicit Intention Communication in Human – Robot Interaction Through Visual Behavior Studies*, ss. 1–12, 2017.
- [33] Cifuentes C. A., Rodriguez C., Frizzera-neto A., Bastos-filho T. F., Carelli R. ve Member S., *Multimodal Human – Robot Interaction for Walker-Assisted Gait*, c. 10, sayı 3, ss. 933–943, 2016.
- [34] Fraga D., Gulerrez A., Vallejo J.C, Campo A. ve Bankovic Z., *Improving Social Odometry Robot Networks with Distributed Reputation Systems for Collaborative Purposes*, ss. 11372–11389, 2011.
- [35] Singh A. K. ve Nandi G. C., *NAO humanoid robot : Analysis of calibration techniques for robot sketch drawing*, *Rob. Auton. Syst.*, c. 79, ss. 108–121, 2016.
- [36] Alonso I. G., *Collaborative Tasks Between Robots Based on the Digital Home Compliant Protocol over UPnP*, ss. 357–371, 2013.
- [37] Maeda G. J., Neumann G., Ewerton M., Lioutikov R., Kroemer O. ve Peters J., *Probabilistic movement primitives for coordination of multiple human – robot collaborative tasks*, *Auton. Robots*, c. 41, sayı 3, ss. 593–612, 2017.
- [38] Mondada L., Ehsanul M. ve Mondada F., *Electroencephalography as implicit communication channel for proximal interaction between humans and robot swarms*, c. 10, sayı 4, ss. 247–265, 2016.
- [39] Micea M. V., Stancovici A., Chiciudean D. ve Filote C., *Indoor Inter-Robot Distance Measurement in Collaborative Systems*, c. 10, sayı 3, ss. 21–26, 2010.
- [40] Grau A., Guerra E., Munguia R. ve Bolea Y., *Collaborative Localization for Autonomous Robots in Structured Environments*, ss. 219–224, 2016.
- [41] Diprose J., MacDonald B., Hosking J. ve Plimmer B., *Designing an API at an appropriate abstraction level for programming social robot applications*, *J. Vis. Lang. Comput.*, c. 39, ss. 22–40, 2017.
- [42] Tenorth M. ve Beetz M., *Representations for robot knowledge in the KNOWROB framework*, *Artif. Intell.*, c. 247, ss. 151–169, 2017.

- [43] Ferrús R. M. ve Somonte M. D., Design in robotics based in the voice of the customer of household robots, *Rob. Auton. Syst.*, c. 79, ss. 99–107, 2016.
- [44] Lizundia E. R., Marcos S., Zalama E., Gómez-García-Bermejo J. ve Gordaliza A., A bellboy robot: Study of the effects of robot behaviour on user engagement and comfort, *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, c. 82, ss. 83–95, 2015.
- [45] Sejati P., Suzuki H., Kitajima T., Kuwahara A. ve Yasuno T., Object Conveyance Algorithm for Multiple Mobile Robots based on Object Shape and Size, c. 7, sayı 5, 2016.
- [46] Liu F., Liang S. ve Xian X., Optimal Robot Path Planning for Multiple Goals Visiting Based on Tailored Genetic Algorithm, c. 6891, sayı March, 2017.
- [47] Das B., Couceiro M. S. ve Vargas P. A., MRoCS : A new multi-robot communication system based on passive action recognition, *Rob. Auton. Syst.*, c. 82, ss. 46–60, 2016.
- [48] Vasilyev I., Kashourina A., Krasheninnikov M. ve Smirnova E., Use of Mobile Robots Groups for Rescue Missions in Extreme Climatic Conditions, c. 100, ss. 1242–1246, 2015.
- [49] Abukhalil T., Patil M., Patel S. ve Sobh T., Coordinating a Heterogeneous Robot Swarm Using Robot Utility-based Task Assignment (RUTA).
- [50] Prasad A., Sharma B. ve Vanualailai J., A new stabilizing solution for motion planning and control of multiple robots, c. 34, sayı 2016, ss. 1071–1089, 2017.
- [51] Dai Y., Kim Y., Wee S., Lee D. ve Lee S., Symmetric caging formation for convex polygonal object transportation by multiple mobile robots based on fuzzy sliding mode control, *ISA Trans.*, c. 60, ss. 321–332, 2016.
- [52] Triguí S., Cheikhrouhou O., Koubaa A., Baroudi U. ve Youssef H., FL-MTSP : a fuzzy logic approach to solve the multi-objective multiple traveling salesman problem for multi-robot systems, *Soft Comput.*, 2016.
- [53] Al M. ve Nüchter A., Enhanced frontier-based exploration for indoor environment with multiple robots, c. 29, sayı 10, ss. 657–669, 2015.
- [54] Das B., Adaptive sliding mode formation control of multiple underwater robots, c. 24, sayı 4, ss. 515–543, 2014.
- [55] Sugiyama H., Tsujioka T. ve Murata M., Real-time exploration of a multi-robot rescue system in disaster areas, c. 27, sayı 17, ss. 1313–1323, 2013.
- [56] Hoshino S. ve Seki H., Multi-robot coordination for jams in congested systems, *Rob. Auton. Syst.*, c. 61, sayı 8, ss. 808–820, 2013.
- [57] Gil S., Kumar S., Katabi D. ve Rus D., Adaptive Communication in Multi-Robot Systems Using Directionality of Signal Strength, ss. 1–18, 2010.
- [58] Kosak O., Wanninger C., Angerer A., Hoffmann A., Schiendorfer A. ve Seebach H., Towards Self-organizing Swarms of Reconfigurable Self-aware Robots, 2016.
- [59] Kılıç A. ve Kapucu S., Modüler yeniden yapılandırılabilir robot modülü OMNIMO ' nun tasarımı ve üretimi”, c. 3, ss. 521–530, 2016.
- [60] Kızır Z., Bingül S., Haptik Kontrollü Stewart Platformu ile Endoskop Konumlama.
- [61] Saeidi H., Mikulski D. G. ve Wang Y., Trust-Based Leader Selection for Bilateral Haptic Teleoperation of Multi-Robot Systems, ss. 6575–6581, 2017.
- [62] M R., B. A. Vishnu, T P., Reghu N. C. ve M. S, Tele-Operated Trajectory Tracking of Differential Drive Wheeled Mobile Robot Using Haptic Robot, ss. 587–592, 2017.
- [63] Saeidi H., Wagner J. R. ve Wang Y., A Mixed-Initiative Haptic Teleoperation Strategy for Mobile Robotic Systems Based on Bidirectional Computational Trust Analysis, *IEEE Trans. Robot.*, c. 33, sayı 6, ss. 1500–1507, 2017.
- [64] Hotel I. C. ve Family S., Haptik Rehabilitasyon Uygulamalar, ss. 293–296, 2016.
- [65] Surendran A. ve S J M., Sliding mode controller for robust trajectory tracking using haptic robot, 2016 IEEE 1st Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst., ss. 1–6, 2016.
- [66] Wei H., Shao Z., Huang Z., Chen R. ve Guan Y., RT-ROS : A real-time ROS architecture on multi-core processors, *Futur. Gener. Comput. Syst.*, c. 56, ss. 171–178, 2016.
- [67] www.techradar.com.erisim:10.10.2017
- [68] Woodward M. A. ve Sitti M., MultiMo-Bat: A biologically inspired integrated jumping-gliding robot, *Int. J. Rob. Res.*, c. 33, sayı 12, ss. 1511–1529, 2014.
- [69] Mulgaonkar Y., Makineni A., Guerrero-Bonilla L. ve Kumar V., Robust Aerial Robot Swarms Without Collision Avoidance, *IEEE Robot. Autom. Lett.*, c. 3, sayı 1, ss. 596–603, 2018.
- [70] Silva L. ve Nedjah N., Efficient strategy for collective navigation control in swarm robotics, *Procedia Comput. Sci.*, c. 80, ss. 814–823, 2016.
- [71] Ravalli A., Rossi C. ve Marrazza G., Sensors and Actuators B : Chemical Bio-inspired fish robot based on chemical sensors, *Sensors Actuators B. Chem.*, c. 239, ss. 325–329, 2017
- [72] Zhang J., Song G., Li Y., Qiao G., Song A. ve Wang A., Mechatronics A bio-inspired jumping robot : Modeling , simulation , design , and experimental results, *Mechatronics*, c. 23, sayı 8, ss. 1123–1140, 2013.
- [73] Liu Y., Sun S., Wu X. ve Mei T., A Wheeled Wall-Climbing Robot with Bio-Inspired Spine Mechanisms, *J. Bionic Eng.*, c. 12, sayı 1, ss. 17–28, 2015.
- [74] Martel S., Mohammadi M., Switching between magnetotactic and aerotactic displacement controls to enhance the efficacy of MC-1 magneto-aerotactic bacteria as cancer-fighting nanorobots, *Micromachines*, c. 7, sayı 6, 2016.
- [75] Al-Fandi M., Alshraiedeh N., Owies R., Alshdaifat H., Al-Mahaseneh O., Al-Tall K., Alawneh R., Novel Selective Detection Method of Tumor Angiogenesis Factors Using Living Nano-Robots, *Sensors*, c. 17, sayı 7, s. 1580, 2017.

- [76] Hu C., Arvin F. , Yue S., Development of a bio-inspired vision system for mobile micro-robots, IEEE ICDL-EPIROB 2014 - 4th Jt. IEEE, ss. 81–86, 2014.
- [77] Tang C., Liu J., Chen X., Micro / Nano-Robotics in Biomedical Applications and Its Progresses, sayı 1966, ss. 376–380, 2015.