



Modüler yeniden yapılandırılabilir robot modülü OMNIMO'nun tasarımı ve üretimi

Ali Kılıç*, Sadettin Kapucu

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 27310, Gaziantep, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Yeni, homojen, melez modüler yeniden yapılandırılabilir robot modülü
- 4 adet açılabilir 1 adet prizmatik aktif serbestlik derecesi
- Yüksek mukavemetli 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş ABS ve PETG robot gövdesi

Makale Bilgileri

Geliş: 24.07.2015

Kabul: 08.11.2015

DOI:

10.17341/gummfd.97989

Anahtar Kelimeler:

Modüler robotlar,
yeniden yapılandırılabilir
robotlar,
robot modülleri

ÖZET

OMNIMO dört adet dönme ve bir adet öteleme aktif serbestlik derecesine sahip yeniden yapılandırılabilir robot modülüdür. Robot, modüler yeniden yapılandırılabilir robotlarda ihtiyaç duyulan yüksek tek modül hareket kabiliyeti ve yüksek çoklu modül üretkenliği sağlamak amacıyla tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu maksatla her bir robot modülü, kontrolcüler, eyleyiciler, algılayıcılar, kablosuz iletişim ünitesi, batarya, hareket mekanizmaları ve tamamlayıcı mekanik ve elektronik bileşenler ile donatılmıştır. Robotun serbestlik dereceleri sabit, serbest ve hareketli olarak kullanılabilirler. Robot modülü, melez ve homojen mimaride, üç boyutlu çalışma uzayında tamamen otonom olarak hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. OMNIMO'nun gelişmiş mekanik tasarımı sayesinde robot modülü kendini beş farklı robot tipine dönüştürebilir. Ayrıca, robot kendi konfigürasyonunu iki farklı görev arasında dinamik olarak değiştirebilir. Bunun yanında birden fazla özdeş robot modülü bir arada kullanılarak farklı robot tipleri ve konfigürasyonları oluşturulabilir. Bu makalede, özgün robot modülü OMNIMO'nun tasarım detayları, donanım entegrasyonu ve üretim ayrıntıları verilmiştir, ayrıca tekli ve çoklu robot konfigürasyonları sunulmuştur.

Design and construction of a modular reconfigurable robot module OMNIMO

H I G H L I G H T S

- A novel homogeneous and hybrid modular reconfigurable robot module
- 4 revolute and 1 prismatic active degrees of freedom.
- Constructed with high strength 3D printed ABS and PETG body

Article Info

Received: 24.07.2015

Accepted: 08.11.2015

DOI

10.17341/gummfd.97989

Keywords:

Modular robots,
self-reconfigurable robots,
robotic modules

ABSTRACT

OMNIMO is a modular reconfigurable robot module which has four revolute and one prismatic active degrees of freedom. The purpose of designing and producing of robot is providing high single robot mobility and high multi module productivity requirements in modular reconfigurable robots. In this purpose each robot module is equipped with controllers, actuators, sensing elements, a wireless communication unit, battery and complementary mechanical and electronic components. Degrees of freedom of robot can be used as fixed, free and actuated. The robot module is designed in hybrid and homogeneous architecture to move completely autonomous in three dimensional works pace. Due to sophisticated mechanical design of OMNIMO, it can realize five different robot types with single robot module. Also, it can change its own configuration dynamically between two different tasks. Moreover, by using multi robot modules together so many different robot configurations can be realized. This paper presents details of the design, hardware implementation and production details of the original robot module OMNIMO and single module and multi module robot configurations.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geleneksel robotların aksine modüler yeniden yapılandırılabilir robotlar, tek bir robotun yeteneklerinin ve yapabileceklerinin yanı sıra birden fazla robotun bir araya

gelerek farklı robot tiplerini oluşturabilecek ve farklı görevleri yerini getirebilecek bir mimari sunar. Yeniden yapılandırılabilir robotlar bir nevi sürü robotlar olarak ta tanımlanabilir ancak sürü robotlar gibi ortak çalışarak performansın artırılmasının yanı sıra bu robotlar

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: akilic@gantep.edu.tr / Tel: 0342 317 25 44

birbirleriyle iki veya üç boyutlu yeni robotlar oluşturabilecek şekilde birleşebilirler. Ancak bu robotlar, donanımsal ve yazılım olarak geleneksel robotlardan daha karmaşıktır. Bu nedenle robotik araştırma alanında yeniden yapılandırılabilir robotlar son yirmi yıldır yeni ve zorlu bir alan haline gelmiş ve araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu devrimci yaklaşım sayesinde robot tek başına hareket edebilir ve basit görevleri tek başına gerçekleştirebilir, karmaşık görevler için ise uygun robot konfigürasyonu birden fazla homojen robot modülü ile inşa edilebilir. Modüler robotlar belirli bir konfigürasyonu oluşturmak için daha önceden tasarlanan kenetlenme noktalarından birleşirler. Başka bir deyişle modüler yeniden yapılandırılabilir robotlar birbirinden bağımsız hareketli robot parçalarının ortak bir görevi yerine getirmek için birleşerek veya birleşmeden birlikte hareket ettikleri robotlardır. Ayrıca robotların mekanik yapısı farklı görevler arasında dinamik olarak değiştirilebilir. Bu yetenek birçok görevin ve uygulamanın yalnızca bir robot modülü ile veya birden fazla özdeş robot modülünün bir araya gelmesiyle yapılmasına imkân verir. Genel olarak modüler yeniden yapılandırılabilir robotların geleneksel robotlara göre üç ana avantajı bulunmaktadır [1, 2]. Bunları sıralamak gerekirse; Modüler yeniden yapılandırılabilir robotlar gerektiği zaman konfigürasyonlarını değiştirerek kendilerini her türlü yeni ortama ve duruma adapte edebilirler. Modüler Yeniden Yapılandırılabilir Robotlar fazladan hareket serbestliğine sahip olduklarından dolayı daha gürbüzdürler. Başka bir deyişle robot modüllerinden biri arızalandığında robot bu modülü atıp yenisiyle değiştirebilir veya kalanlar ile yeni bir konfigürasyon oluşturarak yoluna devam edebilir. Bu özellik modüler robotların hataya ve arızaya dayanıklı robotlar olmalarını sağlar. Değişik boyutlara ve tasarımlara sahip farklı elemanlar üretmek yerine, modüler robotik sistemlerde seri üretimle aynı parçadan birden çok üretmek toplam robot maliyetini düşürecektir. Yeniden yapılandırılabilir robotlar diğer bütün robotlara benzeşebilecek yetiye sahip evrensel robotlar olarak düşünülebilir. Böyle düşünülmesinin başlıca nedenleri: Bu robotların modüllerden meydana geliyor olması, Robotun içerisinde fazladan istenildiği zaman aktif veya pasif hale getirilebilecek serbestlik derecelerinin bulunması, Bu modüllerin birbirleriyle farklı noktalardan kenetlenerek iki veya üç boyutlu geometrileri oluşturabilecek yetenekte olmasıdır. Bu özellikler ve yetenekler modüler yeniden yapılandırılabilir robotların yapılarını değiştirebilmelerini ve ayrıca beklenmedik ve değişken ortamlara uyum sağlamalarına izin vermektedir. Örneğin bir modüler yeniden yapılandırılabilir robot düz bir zeminde hızlı yol alabilmek için tekerlekli robot konfigürasyonunda, dar bir borunun içinde yol almak veya bir mağaranın içine girmek için yılan konfigürasyonunda, zorlu bir arazide yük taşımak için bacaklı robot konfigürasyonunda, önüne bir dağ veya tepe çıktığında örümcek tipi bir tırmanan robot konfigürasyonlarına bürünebilir ayrıca ihtiyaç duyulduğunda robot modülleri yapısal elemanlar olarak, barınak, masa veya duvar olarak ta kullanılabilirler. Bu makalede, tamamen özgün modüler yeniden

yapılandırılabilir bir robot modülü olan OMNIMO'nun (OMNI directional Modular robot) tasarım detayları, donanım entegrasyonu, üretim ayrıntıları ve yetenekleri sunulmaktadır. OMNIMO mobil robot mimarilerini, sabit robot kol mimarilerini ve ayrıca her ikisinin bir arada bulunduğu farklı robot varyasyonlarını oluşturabilmek amacıyla tasarlanmış ve üretilmiştir. Robotlar genel olarak belirli ve özel bir amaç için tasarlanırlar ve üretilirler. Aslında problemin iyi tanımlandığı ve sınırların iyi belirlendiği uygulamalarda endüstriyel robotlar pratik ve yeterlidir. Ancak robotlara değişken ve tahmin edilemeyen alanlarda da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu uygulamalarda geleneksel robotlar ihtiyaçlara yeterince cevap veremediği için modüler yeniden yapılandırılabilir robotik sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alanlara örnek vermek gerekirse Uzay uygulamalarında, robotik arama kurtarma uygulamalarında, askeri sınır denetimi ve gözetimi uygulamalarında, tıbbi rehabilitasyon hizmetlerinde, yeni ve karmaşık robotların oluşturulmasında, robotik araştırma geliştirme uygulamalarında, değişken ve butik endüstriyel üretimde, robotik eğitim ve öğretiminde, Nükleer güç santrali ve zehirli atık uygulamalarında, derin deniz araştırmalarında, madencilikte, dinamik mobilya uygulamalarında. Teorik olarak geleneksel robotlar yeni görevlere adapte edilebilir, esnek ve yeniden programlanabilir olarak bilinmektedir. Ancak bir robot konfigürasyonunun yapabileceği sınırlı sayıda uygulama vardır. Robot ancak bu limitler dâhilinde çalışır ve tasarım sürecinde karar verilen işleri yapabilir. Örneğin hassas elektronik bileşen dizen bir robotun konfigürasyonu ile kaynak yapan bir robotun konfigürasyonu ve yetenekleri farklıdır, ayrıca bu iki robotta fabrika içi yük taşımak için tasarlanan bir mobil robotun yapabildiği işleri yapamazlar. Böyle bir problemin çözümü OMNIMO gibi içerisinde fazladan serbestlik dereceleri barındıran modüler yeniden yapılandırılabilir robot modüllerine sahip olmaktır. OMNIMO'nun modüler yeniden yapılandırılabilir mimarisi sayesinde farklı görevler için farklı robot tipleri elde edilebilir. Mimari bakış açısıyla baktığımız zaman modüler robotlar dört farklı gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Zincir mimarisi: Zincir mimarisine sahip modüler yeniden yapılandırılabilir robotlar uç uca eklenerek bir zincir veya ağaç gibi birleşirler [1, 2]. Hareket kabiliyetleri yüksek ancak yeniden yapılanabilme yetenekleri düşüktür.
- Kafes mimari: Bu mimariye sahip robotlar birbirleriyle bir kafes oluşturacak biçimde birleşen başka bir deyişle birbirleriyle küp veya hexagon benzeri iki veya üç boyutlu geometrik şekilleri oluşturabilecek şekilde birleşirler [1, 2]. Hareket kabiliyetleri düşük ancak yeniden yapılanabilme yetenekleri yüksektir.
- Mobil mimari: Bu mimariye sahip robotlar kendi başlarına mobil hareket kabiliyetine sahip olan robotlardır. 2 boyutlu hareket kabiliyetleri yüksek ancak birleşebilme ve yeniden yapılanabilme yetenekleri düşüktür. Sürü robotlar bu mimariye sahiptirler [1].

Tablo 1. Modüler yeniden yapılandırılabilir robotlar (Modular reconfigurable robots)

| Robot | SD | SDT | Hareket | Mimari | Yıl | Geliştiriciler | Kaynak |
|-------------|----|-----|---------|--------|------|-------------------|----------|
| CEBOT | 2 | 2R | 2D | Mobil | 1988 | Fukuda et al. | [3, 4] |
| PolyPod | 2 | 2R | 3D | Zincir | 1993 | Mark Yim | [5] |
| Metamorphic | 6 | 6R | 2D | Kafes | 1993 | Chirikjian | [6] |
| CONRO | 2 | 2R | 3D | Zincir | 1998 | Castano et al. | [7] |
| PolyBot | 1 | 1R | 3D | Zincir | 1998 | Yim et al. | [8] |
| 3D Unit | 6 | 6R | 3D | Kafes | 1998 | Murata et al. | [9] |
| Molecule | 4 | 4R | 3D | Kafes | 1998 | Kotay et al. | [10] |
| Telecube | 6 | 6P | 3D | Kafes | 1998 | Suh et al. | [11] |
| M-TRAN | 2 | 2R | 3D | Melez | 1998 | Murata et al. | [12] |
| Crystalline | 1 | 1P | 2D | Kafes | 1999 | Rus and Vona | [13] |
| I-Cubes | 3 | 3R | 3D | Kafes | 1999 | Ünsal et al. | [14] |
| M-TRAN II | 2 | 2R | 3D | Melez | 2002 | Murata et al. | [15] |
| Swarm-bot | 3 | 3R | 2D | Mobil | 2003 | Mondada et al. | [16] |
| ATRON | 1 | 1R | 3D | Melez | 2003 | Ostergard et al. | [17] |
| Catoms | 0 | --- | 2D | Kafes | 2005 | Goldstein et al. | [18] |
| Molecube | 1 | 1R | 3D | Melez | 2005 | Zykov et al. | [19] |
| M-TRAN III | 2 | 2R | 3D | Melez | 2005 | Kurokawa et al. | [20] |
| SuperBot | 3 | 3R | 3D | Melez | 2005 | Salemi et al. | [21] |
| YaMoR | 1 | 1R | 2D | Zincir | 2005 | Moeckel et al. | [22] |
| Y1 Modules | 1 | 1R | 2D | Zincir | 2006 | Gonzalez et al. | [23] |
| Miche | 0 | --- | 3D | Kafes | 2007 | Rus et al. | [24] |
| Roombots | 3 | 3R | 3D | Melez | 2008 | Sproewitz et al. | [25, 26] |
| Sambot | 3 | 3R | 3D | Melez | 2010 | Wei et al. | [27] |
| Smores | 4 | 4R | 3D | Melez | 2012 | Davey et al. | [28] |
| M-Blocks | 0 | - | 3D | Kafes | 2013 | Romanishin et al. | [29] |
| CoSMO | 1 | 1R | 3D | Melez | 2013 | Liedke et al. | [30] |
| Gunryu 3D | 8 | 8R | 3D | Mobile | 2013 | Lee et al. | [31] |
| ReBis | 1 | 1R | 3D | Zincir | 2014 | Thakker et al. | [32] |
| KAIRO 3 | 3 | 3R | 2D | Zincir | 2014 | Pfotzer et al. | [33] |
| UBot | 2 | 2R | 3D | Melez | 2014 | Zhu et al. | [34] |
| Diamobot | 1 | 1R | 3D | Melez | 2016 | Zhao et al. | [35] |

• Melez mimari: Bu mimariye sahip robotlar kendi başlarına hareket kabiliyetine sahip olmalarının yanı sıra kafes mimarisini ve zincir mimarisini de gerçekleyebilirler [2]. Hareket ve yeniden yapılandırılabilme yetenekleri yüksektir.

OMNIMO'nun tasarım sürecinde melez mimari kriterleri esas alınmış ve bu doğrultuda tasarım ve üretim gerçekleştirmiştir. Bu zamana kadar modüler yeniden yapılandırılabilir robot literatüründe değişik formlarda ve bir serbestlik derecesinden altı serbestlik derecesine kadar farklı serbestlik derecelerine sahip yetmişden fazla robot tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu bölümde literatürden derlenmiş bazı robotların serbestlik derecesi (SD), serbestlik derecesi tipleri (SDT), kaç boyutta hareket edebildiği, mimarisi, geliştirme yılı ve geliştiricilerin yer aldığı bir sınıflandırma ve incelemeye yer verilecektir. Tablo 1'de bu sınıflandırmanın tarihsel sıraya göre düzenlenmiş hali görülebilir. Literatürdeki deneysel ve teorik çalışmaların incelenmesi neticesinde hali hazırdaki geliştirilmiş olan robotlarda bazı eksiklikler tespit edilmiştir. Öncelikli olarak robotların tek modül hareket ve manevra kabiliyetlerinin düşük olduğu ve çoklu modül

hareketlerinin ise yetersiz olduğu görülmektedir. Ayrıca modüller arası iletişim ve veri aktarım problemlerinin yanı sıra denge ve güç problemlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu problemlerden yola çıkarak OMNIMO'nun kavramsal tasarım sürecinde robotun tek modül halindeyken kendi başına yüksek hareket kabiliyeti, esneklik, çoklu modül üretkenliği ve çeşitliliğini sağlamak için aşağıda belirtilen kriterler ortaya konulmuştur. Bu kriterler geleneksel robotlarda yer alan gerekliliklere ek olarak modüler robotlara özel gereksinimlerdir.

- Mümkün olduğu kadar fazla evrensel kenetlenme yüzeyi eklenmesi
- Tek modül hareket ve manevra kabiliyetinin artırılması
- Dönme ve öteleme serbestlik derecelerinin bir robot bünyesinde bulunması
- Modüller arası bilgi ve veri aktarımının kablosuz metotlarla gerçekleştirilmesi
- Her bir robot modülünün güç gereksinimleri dâhil tamamen otonom olması
- Modüller üzerinde ataletsel ölçüm birimi eklenmesi
- Optimum ağırlık güç oranının yakalanması

Yukarıda belirtilen şartların bir robot modülü bünyesindeki gerekliliği mekanik, elektronik ve yazılımsal açıdan zor bir durum ortaya koymaktadır.

2. DONANIM (HARDWARE)

OMNIMO çoklu görevler için yüksek mimari esnekliğe ve yeniden yapılandırılabilirliğe sahip tamamen tek başına çalışabilen, otonom ve açık kaynak kodlu bir robot olarak geliştirilmiştir. Robotların performansları çoğunlukla mekanik ve elektronik tasarım yeteneklerine ayrıca bileşen kalitesine ve uyumluluğuna bağlıdır. Bahsedilen özellikleri sağlamak için robotumuz çeşitli bileşenler ile donatılmış ve literatürde daha önce rastlanmayan bir kinematik konfigürasyon (dönme ve öteleme bir arada) ile üretilmiştir. Robotun kinematik dizilimi RRPRR (Revolute Revolute Prismatic Revolute Revolute) şeklindedir. Öteleme eksenini karmaşık hareketlerin yapılmasına çoklu modül robot zenginliğine imkan vermektedir. Robotun serbestlikleri Şekil 1'de görülebilir. OMNIMO'nun hareket kabiliyetlerine bakacak olursak birinci ve beşinci eksenler 360° dönebilirler ve tekerlek olarak kullanılabilirler. İkinci ve dördüncü eksenler 180° dönebilirler ve birbirlerine göre 90° açı yapacak şekilde konumlandırılmışlardır. Son olarak üç numaralı eksen lineer olarak 100 mm uzayıp kısalabilir. Robotun döner eksenleri yük altında en fazla 90 devir/dakika hıza ulaşabilirler, lineer eksen ise 1,2 metre/dakika maksimum hıza erişebilir. OMNIMO'nun ana özellikleri ve yetenekleri aşağıdaki gibidir.

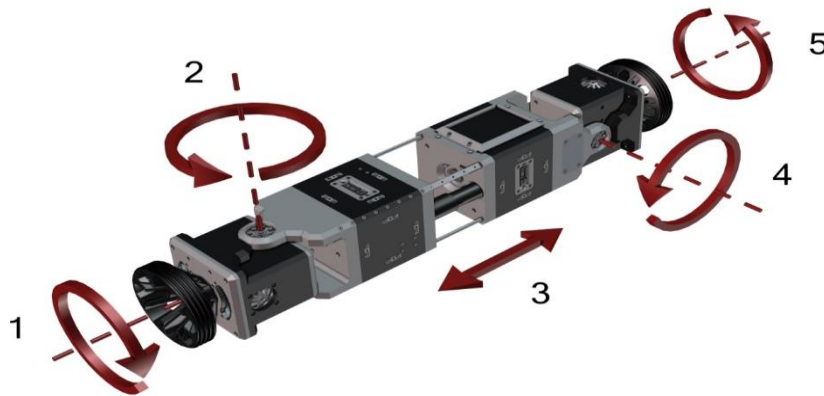
- 3 boyutlu çalışma uzayında hareket edebilme yeteneği
- Öteleme ve dönme serbestlik derecelerini bir modüle barındırması
- 10 farklı kenetlenme yüzeyi ile çok modüllü üretkenlik ve esneklik. Ayrıca bu kenetlenme yüzeylerine kamera, robot el, kaskaç, pil ünitesi gibi bileşenler bağlanabilir.
- Kendine özgü kontrolcüsü, bataryası, algılayıcıları ve hareket mekanizmaları

- Beş adet aktif serbestlik derecesine sahiptir ve bu serbestlik dereceleri yazılımsal olarak sabit, serbest ve hareketli olarak kullanılabilir.
- Her modül, diğer modüllerle ve bilgisayar benzeri sistemlerle haberleşebilmesi için kablosuz iletişim birimine sahiptir.
- Robotun kolay kullanımı ve yazılım geliştirilmesi için ayrıca hata tespiti ve görsel bildirim için dokunmatik renkli ekrana sahiptir.

Robotun genel görünüşü Şekil 2'deki fotoğrafta görülebilir

2.1. Mekanik (Mechanical)

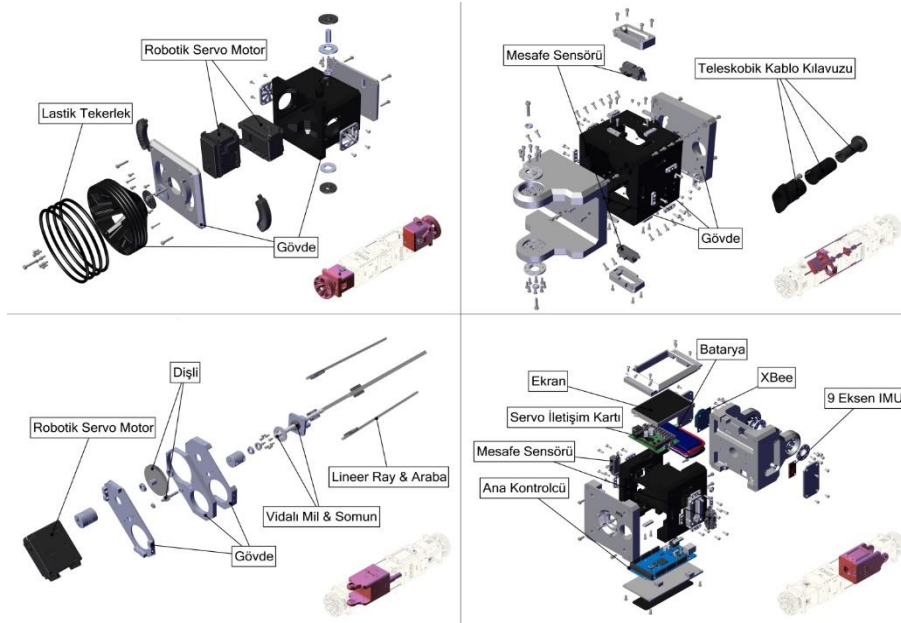
Robotik sitemlerdeki en büyük problemlerden biri ağırlık güç dengesidir. Ağır robotların fazla güç tüketiminden dolayı bir dezavantajı bulunmakta, hafif robotlarda ise yapısal mukavemet sorunları yaşanmaktadır. Bu problem özellikle modüler robotlarda daha büyük önem arz etmektedir. OMNIMO'nun mekanik tasarım sürecinde kompakt, düşük kütle atalet momentine sahip bir gövde tasarımı yapılmıştır. Ancak geleneksel üretim metotları ile tasarlanan gövde elemanlarını üretilememiştir. Bu sebepten dolayı robotun gövde elemanlarını üretmek için eklemeli üretim (3 boyutlu yazıcı ile üretim) metotlarına başvurulmuş ve parçalar FDM metoduyla ColorFabb XT-CF20, %20 karbon fiber katkılı copolyester malzeme ile üretilmiştir. Eklemeli üretim sayesinde öngörülen atalet ve ağırlık oranları yakalanmıştır. Robotun ana gövde parçaları kumlanmış, zımparalanmış daha sonrasında ise boyanmıştır. Yapısal olarak zayıf olduğu düşünülen noktalarda ve rulman yataklarında 7075 T6 kalite alüminyum malzemeden üretilen parçalar kullanılmıştır. Robotun mafsallarında oluşabilecek yükleri karşılamak için radyal ve aksel yataklama elemanları kullanılmıştır. Robotun en önemli özelliklerinden olan öteleme hareketini gerçekleştiren lineer eksen vidalı mil somun bileşimi ile tahrik edilmiş ayrıca lineer ray ve araba ile yataklanmıştır. Robotun içyapısı ve donanım yerleşimi Şekil 3'de görülebilir.



Şekil 1. OMNIMO'nun serbestlik dereceleri (Degrees of freedom of OMNIMO)



Şekil 2. Modüler yapılandırılabilir robot OMNIMO'nun fotoğrafı (The photography of modular reconfigurable robot OMNIMO)



Şekil 3. Robotun donanım yerleşimi ve iç yapısı (Hardware localization and internal structure of robot)

2.2. Elektronik (Electronic)

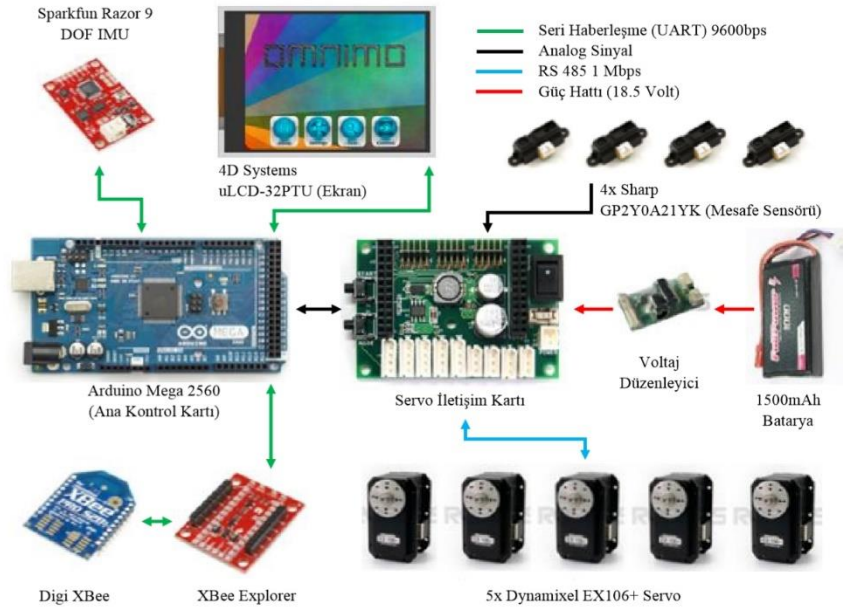
OMNIMO'nun ana kontrolcüsü olarak Atmega 2560 mikrokontrolcü kullanılmıştır. Robotumuzun her eksenini yüksek torklu robotik servo motor ile tahrik edilmektedir. Servo motorların üzerinde bütünleşik dişli kutusu, enkoder ve mikrokontrolcüsü bulunmaktadır. Robotun diğer modüller veya bilgisayar benzeri kontrolcülerle ile haberleşmesi için 2,4 GHz XBee Pro Kablosuz iletişim birimi kullanılmıştır. Robotun her konumunda yer ile yaptığı Euler açılarını (roll, pitch, yaw) hesaplamak için 9 eksen ataletsel ölçüm birimi (IMU 3 eksen ivme metre, 3 eksen jiroskop ve 3 eksen manyetometre) kullanılmıştır.

IMU ile robotun her an hangi yönde olduğunu, kendini düzeltmek için veya konumlamak için nasıl hamle yapması gerektiği hesaplanmaktadır. Kullanılan sensöre bütünleşik mikrokontrolcü yönlendirme işlem yükünü ana kontrolcüden almaktadır. Robotun dört bir tarafında toplam

dört adet ultrasonik mesafe sensörü yerleştirilmiştir. Bu sensörler ile robot kendisiyle diğer objeler arasındaki mesafeyi ölçebilmektedir. Robot ile kullanıcı arasında etkileşimi bilgisayar olmadan sağlayabilmek için, ayrıca robot geliştirilirken hata görüntüleme, (hata kodları ile) test ve kontrolü kolaylaştırmak ve yazılım geliştirme süreçlerini hızlandırmak için robota renkli tft dokunmatik kontrollü ekran entegre edilmiştir. Ekran üzerinden motorlar, algılayıcılar, kablosuz iletişim test edilebilmekte, bataryanın durumu ölçülebilmektedir. Ayrıca ekrana entegre hoparlör sayesinde sesli uyarılar oluşturulabilmektedir. Robotun güç gereksinimini karşılayabilmek için bir batarya eklenmiştir ayrıca dışardan güç girişi ile de robot hem şarj edilebilmekte hem de çalışabilmektedir. Bunların yanı sıra robotta güç düzenleyiciler, seri iletişim dönüştürücüler gibi tamamlayıcı bileşenler de kullanılmıştır. Robotta kullanılan elektronik bileşen listesi ve fiziksel özellikler Tablo 2'de, elektronik bileşen ilişkileri ve haberleşme ayrıntıları ise Şekil 4'de görülebilir.

Tablo 2. OMNIMO'nun fiziksel özellikleri ve elektronik bileşen listesi (Physical specs and electronic components list of OMNIMO)

| | |
|---------------------|---|
| Boyut | 105 X 105 X 590 mm |
| Ağırlık | 3200 g |
| Motor | 5X EX106+ [Robotis Dynamixel 10,9 Nm tutma torku, gömülü dişli kutusu, voltaj, akım, sıcaklık sensörü ve enkoder] |
| Kontrolcü | Ana: Atmega 2560, Alt [Ekran] Atmega8, Alt [Motor] Atmega8, Alt[IMU] Atmega 328P |
| Kablosuz Haberleşme | Digi XBee Pro S2B |
| Ekran | 4D Systems uLCD-32PTU |
| Algılayıcı | 4 X Sharp GP2Y0A21 Mesafe Sensörü, Sparkfun Razor 9 Eksen Ataletsel ölçüm birimi |
| Batarya | Li-Po [Turnigy 18,5 V, 1500 mAh] |

**Şekil 4.** Robotun elektronik bileşenleri ve haberleşme haritası (Electronic components and communication map of robot)

3. YETENEKLER (CAPABILITIES)

Modular yeniden yapılandırılabilir robot modülü olarak OMNIMO sadece tek bir robot olarak kullanılabilmesinin yanı sıra çoklu olarak diğer robotlarla birleşerek veya birleşmeden (sürü robotları olarak) belirtilen ortak görevleri yerine getirebilmesi için tasarlanmıştır. Ancak bunların hepsinin bir robot bünyesinde toplamak mekanik, elektronik ve yazılımsal açıdan zorlu bir iştir. Robotun gelişim sürecinde şu ana kadar 3 farklı nesil prototip üretilmiş ve bunlarla birçok deneyler gerçekleştirmiştir. Bu bölümde robotun tek modül ile gerçekleştirebildiği robot tipleri ve bunun yanı sıra potansiyel çoklu modül robotlar anlatılacaktır.

3.1. Tek Modül Robot Tipleri (Single Module Robot Types)

OMNIMO'nun literatürdeki diğer robotlara göre en güçlü yanı tek modül ile bir çok robot hareketini gerçekleştirebilmesi ve hareket kabiliyetleridir. Tek modül

hareketi robotun sürü robot olarak kullanıldığı görevlerde veya çoklu modüllerin kendi başlarına birleşme (otonom birleşme) durumlarında, çoklu modül robot üretkenliğinde (çok yönlülük) önemli rol oynamaktadır. Robotta kayar ve döner mafsalların bir arada kullanılması hareketlerde esneklik, çalışma uzayında uzama ve kısalma bazı özel durumlarda ekstra pozisyonlama hassasiyeti sunmaktadır. Yapılan denemelerde robotumuz beş farklı robot tipinde hareket edebildiği gözlemlenmiştir. Bunlar;

- Yuvarlanan Robot
- Yılan Tipi Robot
- Kol tipi Robot (Manipülör)
- Kamera ve Silah Tareti
- İki tekerlekli robot

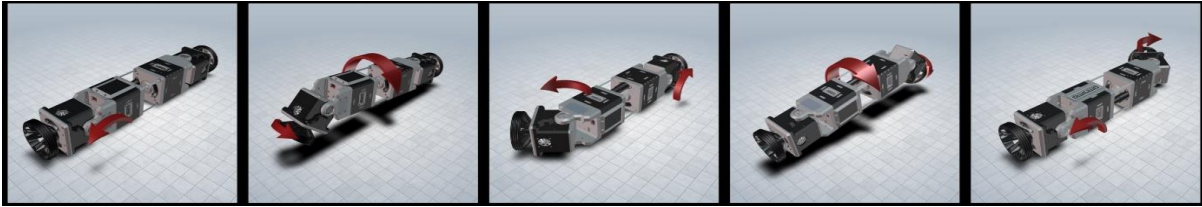
Bir robotun birden fazla robot gibi hareket edebilmesi farklı ortamlarda farklı zeminler de yol almasına ve bunun yanı sıra robotun herhangi bir eksenin arızalanması durumunda kalan eksenlerle yoluna devam edebilmesine imkân verir.

Bu durum modüler yeniden yapılandırılabilir robotlar için kaçınılmaz derecede önemlidir. Şekil 5’de yuvarlanarak yol alan robotun ardışık hareketleri görülebilir. Robot bu hareketi yapabilmek için dört farklı serbestlik derecesini kullanır. Şekil 6 yılan gibi uzayıp kısalarak yol alan robotun ardışık hareketlerini göstermektedir. Robot, bu hareketi yapabilmek için ve belirtilen hedefe yönelebilmek için üç serbestlik derecesini kullanmaktadır. Şekil 7’de OMNIMO’nun robot kol olarak kullanılmasını gösteren örnek bir durumu göstermektedir. Robot kol olarak kullanılırken robot bütün serbestlik derecelerini kullanabilir ve herhangi bir cismi çalışma uzayında herhangi bir noktaya konumlandırabilir. Şekil 8’de robotun taret olarak ta kullanılabileceğini gösteren ardışık hareketler görülmektedir. Şekil 9’da ise robotun basit olarak iki

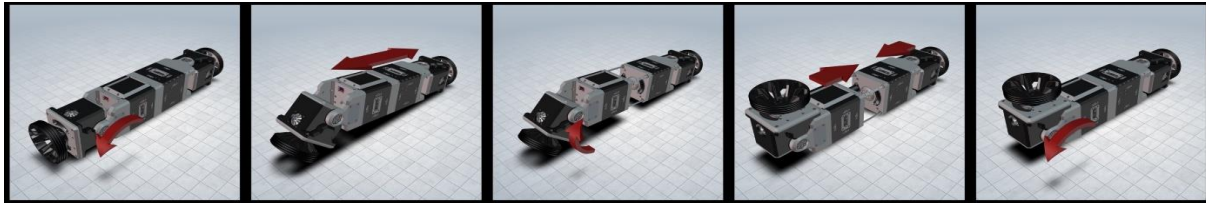
tekerlekli robot olarak kullanıldığını göstermektedir. Robot bu moda kendini dengeleyerek veya dengelemeden yola alabilmektedir. Bu robot tipleri, aynı zamanda robotu nasıl koyarsanız koyun, kendini istediği pozisyona ve moda sokabileceğini göstermektedir. Robot yukarıda belirtilen ve şekillerde gösterilen bütün modlar arasında otonom olarak geçiş yapabilir.

3.2. Çoklu Modül Robot Tipleri (Multi Modules Robot Types)

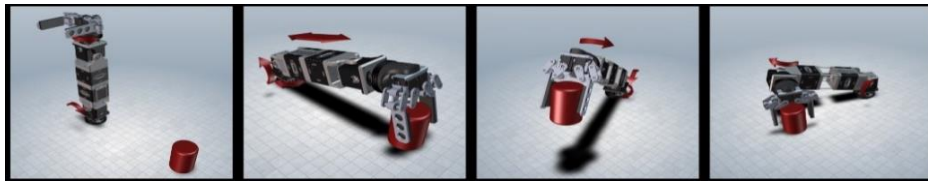
OMNIMO’nun diğer bir güçlü tarafı çoklu modüller ile oluşturulabilecek robot tipleri ve üretkenliğidir. Aktif beş adet serbestlik derecesi, on adet kenetlenme yüzeyi, yüksek torklu motorlar robotun çok farklı robot tiplerini gerçekleyebilmesine imkân sağlamaktadır. Ayrıca robot



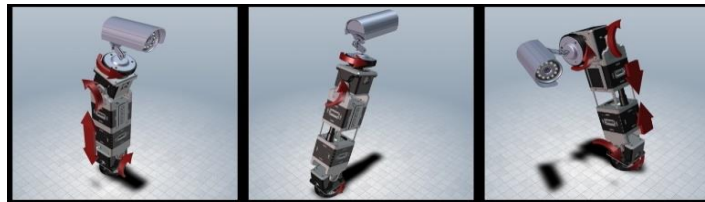
Şekil 5. Yuvarlanan robot ardışık hareketleri (Rolling robot sequential motions)



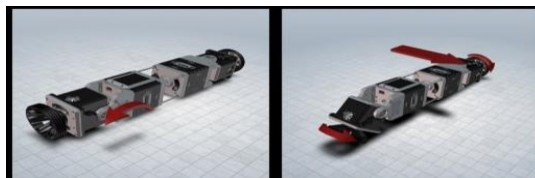
Şekil 6. Yılan tipi robot ardışık hareketleri (Snake type robot sequential motions)



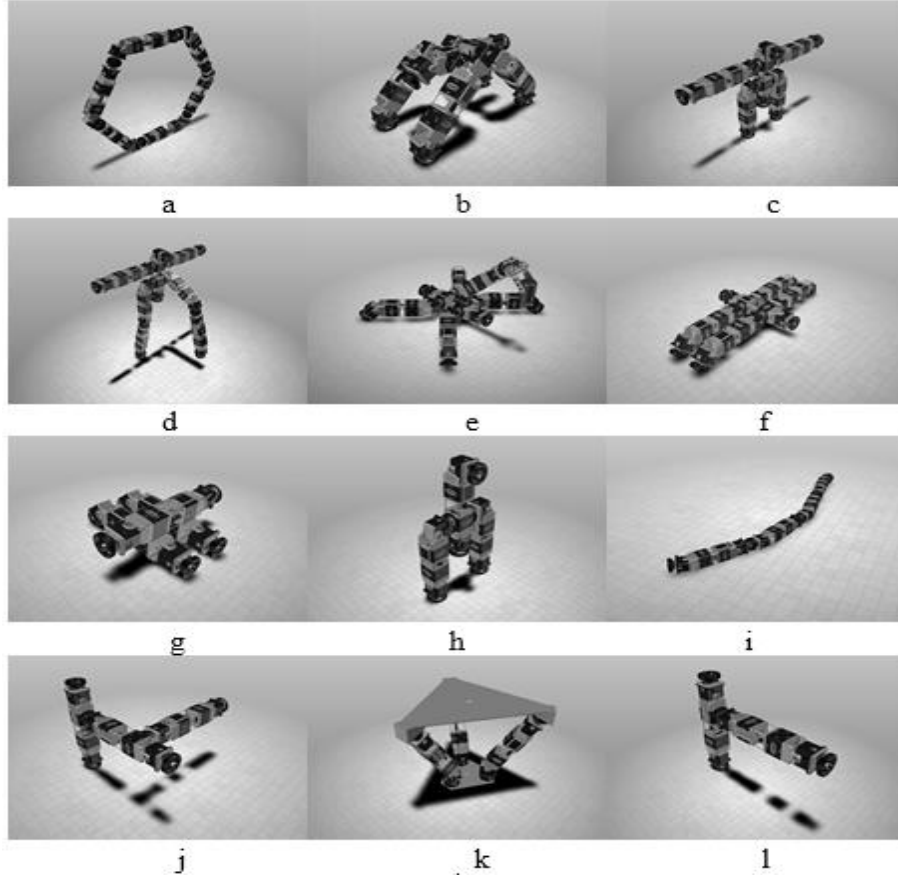
Şekil 7. Robot kol örnek senaryo (Manipulator example scenario)



Şekil 8. Taret tipi robot kamera konumlandırma (Turret type robot camera positioning)



Şekil 9. İki tekerlekli robot tipi (2 wheels robot type)



Şekil 10. Örnek çoklu modül robot konfigürasyonları a) Çoklu modül yuvarlanan robot b) Köpek robot c) İnsan tipi robot d) İnsan tipi robot 2 e) Örümcek robot f) 4 tekerlekli robot g) 4 tekerlekli robot 2 h) 2 bacaklı robot i) Yılan tipi robot j) 3 modüllü robot kol k) Paralel manipülâtör l) 2 modüllü robot kol

(Examples of multi module robot configurations a) Multi module rolling robot b) Dog robot c) Humanoid robot type 1 d) Humanoid robot type 2 e) Spider robot f) 4 wheeled robot type 1 g) 2 wheeled robot type 2 h) 2 legged robot i) Snake robot j) 3 module manipulator k) Paralel manipulator l) 2 module manipulator)

modülünün kinematik dizilimi çok çeşitli robotların oluşturulmasını sağlar. Yüksek, tekli modül manevra ve hareket kabiliyeti farklı yeteneklerde robot sürülerinin ve topluluklarının oluşturulmasına, robotların birleşmeden de ortak görevlerin başarılmasını sağlar. Başka bir deyişle OMNIMO hem birleşerek hem de robot sürüleri oluşturarak çoklu robot görevlerine uygun elektronik ve mekanik altyapıya sahiptir. Çoklu modül uygulamalarında, robotlar bir ana kontrolcü (uzaktan erişim sağlayan bilgisayar) tarafından kontrol edilebileceği gibi aynı zamanda robotlardan biri yönetici (master) diğerleri de köle (slave) olarak hareket edilebilirler. OMNIMO kullanılarak çok çeşitli mobil robotlar, endüstriyel, özel amaçlı robotlar ve bunların bileşkeleri oluşturulabilir. Şekil 10'da öne çıkan bilgisayar ortamında hareketleri test edilmiş bazı robot tipleri sunulmuştur.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu makale de OMNIMO ismi verilen özgün, homojen ve melez mimariye sahip, modüler yeniden yapılandırılabilir bir robot modülün tasarım detayları ve yetenekleri

sunulmuştur. Ayrıca tamamen otonom olan modül robotumuzun hareket kabiliyetleri, tek modül ile gerçekleyebildiği robot tipleri, potansiyel çoklu modül robot konfigürasyonları sunulmuştur. Tasarımı, üretimi ve kontrolü sağlanan robot modülünün birçok robot konfigürasyonunu tek bir modül ve birbirine özdeş robot modüllerinin bileşimi ile oluşturulabileceği ortaya konulmuştur. OMNIMO'nun tek modül robot testleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki testler, robotun dayanımını ve tutarlılığını ölçmek için gerçek ve zorlu ortamlarda gerçekleştirilecektir. Hali hazırda yeterince modül olmadığından dolayı çoklu modül testleri bilgisayar ortamında test aşamasındadır. Çalışmanın devamında modül sayıları arttırılacak ve gerçek ortamlarda ve durumlarda çoklu modül testleri yapılacak, ayrıca elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Robotun tasarım ve gelişim süreci boyunca toplamda 3 farklı nesil prototip üretilmiştir. Son olarak geliştirilen ve bu makalede sunulan robot modülü mekanik elektronik ve yazılımsal olarak stabildir. Robot tek modül robot tipleri arasında otonom geçişler yapabilmektedir. Şu aşamada robot modülünün diğer robot modüllerini bulması ve kendi kendilerine kenetlenmesi konuları üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu zorlu

görevi gerçekleştirebilmek için robotun bir sonraki nesil prototipine otomatik kenetlenmeyi sağlayacak mekanik bir birleşme sistemi eklenecektir. Ayrıca robotların birbirlerini bulmaları ve uygun kenetlenme yüzeylerinin tayini de zorunludur. Gelecek çalışma olarak robotların otonom birleşme stratejileri ve algoritmaları üzerine çalışılacaktır.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından MF.11.14 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yim M., Shen W. M., Salemi B., Rus D., Moll M., Lipson H., Chirikjian G. S., Modular self-reconfigurable robot systems [grand challenges of robotics], *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, 14 (1), 43-52, 2007.
2. Stoy K., Brandt D., Christensen D. J., *Self-Reconfigurable Robots, an Introduction*, the MIT Press, USA, 2010.
3. Fukuda T., Nakagawa S., Kawauchi Y., Buss M., Structure decision method for self organising robots based on cell structures-CEBOT, *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 695-700, 14-19 Mayıs 1989.
4. Fukuda T., Nakagawa S., Dynamically reconfigurable robotic system *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 1581-1586, 24-29 Nisan 1988.
5. YIM M., Locomotion with a unit-modular reconfigurable robot, *Doktora Tezi*, Stanford University, Stanford-USA, 1994.
6. Chirikjian Gregory S., Kinematics of a metamorphic robotic system, *IEEE Conf. on Robotics and Automation, California-USA*, 449-455, 8-13 Mayıs 1994.
7. Castano A., Shen W. M., Will P., CONRO: Towards deployable robots with inter-robots metamorphic capabilities, *Autonomous Robots*, 8 (3), 309-324, 2000.
8. Yim M., Duff D. G., Roufas K. D., PolyBot: a modular reconfigurable robot, *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, San Francisco-USA*, 514-520, 24-28 April 2000.
9. Yoshida E., Murata S., Kurokawa H., Tomita K., ve Kokaji S., A distributed reconfiguration method for 3D homogeneous structure, 1998 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2, Victoria, B.C.-Canada, 852-859, 13-17 Ekim 1998.
10. Kotay K., Rus D., Vona M., McGray C., The self-reconfiguring robotic molecule: Design and control algorithms, *Workshop on Algorithmic Foundations of Robotics, Massachusetts-USA*, 376-386, 1998.
11. Suh J. W., Homans S. B., Yim M., Telecubes: Mechanical design of a module for self-reconfigurable robotics, *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Washington-USA*, 4095-4101, 11-15 May 2002.
12. Murata S., Yoshida E., Tomita K., Kurokawa H., Kamimura A., Kokaji S., Hardware design of modular robotic system, 2000 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 3, Takamatsu-Japan, 2210-2217, 31 Ekim – 5 Kasım 2000.
13. Rus D., Vona M., Crystalline robots: Self-reconfiguration with compressible unit modules, *Autonomous Robots*, 10 (1), 107-124, 2001.
14. Ünsal C., Kiliççöte H., Khosla P. K., A modular self-reconfigurable bipartite robotic system: Implementation and motion planning, *Autonomous Robots*, 10 (1), 23-40, 2001.
15. Kamimura A., Kurokawa H., Yoshida E., Tomita K., Kokaji S., Murata S., Distributed adaptive locomotion by a modular robotic system M-TRAN II, 1998 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Victoria B.C., - Canada 2370-2377, 13-17 Ekim 2004.
16. Mondada F., Pettinaro G. C., Guignard A., Kwee I. W., Floreano D., Deneubourg J. L., Dorigo M., SWARM-BOT: A new distributed robotic concept, *Autonomous robots*, 17 (2-3), 193-221, 2004.
17. Østergaard E. H., Kassow K., Beck R., Lund H. H., Design of the ATRON lattice-based self-reconfigurable robot, *Autonomous Robots*, 21 (2), 165-183, 2006.
18. Goldstein S. C., Campbell J. D., Mowry T. C., Programmable matter, *Computer*, 38 (6) 99-101, 2005.
19. Zykov V., Phelps W., Lassabe N., Lipson H., Molecubes extended: Diversifying capabilities of open-source modular robotics, *IROS-2008 Self-Reconfigurable Robotics Workshop, Nice-France* 20-22 September 2008.
20. Kurokawa H., Tomita K., Kamimura A., Kokaji S., Hasuo T., Murata S., Distributed self-reconfiguration of M-TRAN III modular robotic system, *The International Journal of Robotics Research*, 27 (3-4), 373-386, 2008.
21. Salemi B., Moll M., Shen W. M., SUPERBOT: A deployable, multi-functional, and modular self-reconfigurable robotic system, 2006 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Beijing-China 3636-3641, 9-15 Ekim 2006.
22. Moeckel, R., Jaquier C., Drapel K., Dittrich E., Upegui, A., Jan Ijspeert, A., Exploring adaptive locomotion with YaMoR, a novel autonomous modular robot with Bluetooth interface, *Industrial Robot: An International Journal*, 33 (4) 285-290, 2006.
23. Gonzalez-Gomez J., Boemo E., Motion of minimal configurations of a modular robot: sinusoidal, lateral rolling and lateral shift, *Climbing and Walking Robots Springer Berlin Heidelberg*, 667-674, 2006.
24. Gilpin K., Kotay K., Rus D., Vasilescu I., Miche: Modular shape formation by self-disassembly, *The International Journal of Robotics Research*, 27 (3-4), 345-372, 2008.
25. Sproewitz A., Billard A., Dillenbourg P., Ijspeert A. J., Roombots-mechanical design of self-reconfiguring modular robots for adaptive furniture, *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Kobe-Japan*, 4259-4264, 12-17 Mayıs 2009.

26. Spröwitz A., Moeckel R., Vespignani M., Bonardi S., ve Ijspeert A. J., *Roombots: A hardware perspective on 3D self-reconfiguration and locomotion with a homogeneous modular robot*. *Robotics and Autonomous Systems*, 62 (7), 1016-1033, 2014.
27. Wei H., Chen Y., Tan J., Wang T., *Sambot: A self-assembly modular robot system*, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 16 (4), 745-757, 2011.
28. Davey J., Kwok N., Yim M., *Emulating self-reconfigurable robots-design of the smores system*, 2012 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vilomaura-Portugal 4464-4469, 7-12 Ekim 2012.
29. Romanishin J. W., Gilpin K., Rus D., *M-blocks: Momentum-driven, magnetic modular robots*. 2013 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Tokyo–Japan, 4288-4295, 03-07 November 2013.
30. Liedke J., Matthias R., Winkler L., Wörn H., *The collective self-reconfigurable modular organism (CoSMO)*, 2013 *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Wollongong-Australia, 1-6, 9-12 July 2013.
31. Lee W., Hirai M., Hirose S., *Gunryu III: reconfigurable magnetic wall-climbing robot for decommissioning of nuclear reactor*, *Advanced Robotics*, 27 (14), 1099-1111, 2013.
32. Thakker R., Kamat A., Bharambe S., Chiddarwar S., Bhurchandi K. M., *Rebis-reconfigurable bipedal snake robot*. 2014 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Chicago- USA, 309-314, 14-18 September 2014.
33. Pfotzer L., Ruehl S., Heppner G., Rönnau A., Dillmann R., *KAIRO 3: A modular reconfigurable robot for search and rescue field missions*, 2014 *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, Bali-Indonesia, 205-210, 5-10 December 2014.
34. Zhu Y., Bie D., Iqbal S., Wang X., Gao Y., Zhao J., *A Simplified Approach to Realize Cellular Automata for UBot Modular Self-Reconfigurable Robots*, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 79 (1), 37-54. 2015.
35. Zhao L., Wang H., Lin T., Chen G., Kong L., *Conceptual Design and Kinematic Analysis of the Diamobot: A Homogeneous Modular Robot.*, *Advances in Reconfigurable Mechanisms and Robots II*, 36, 693-703, 2016.