

Altı Bacaklı Arazi Robotu Tasarımı ve Kontrolü

Six-Legged Terrain Robot Design and Control

Gamze ZIRH

Bilgisayar Mühendisi
Atatürk Üniversitesi
gamze.zirh@org.atauni.edu.tr

Cansun ÇINAR

Bilgisayar Mühendisi
Atatürk Üniversitesi
cansu.cinar@org.atauni.edu.tr

Barış ÖZYER

Bilgisayar Mühendisi
Atatürk Üniversitesi
baris.ozyer@atauni.edu.tr

Ahmet ÇINAR

Bilgisayar Mühendisi
Atatürk Üniversitesi
ahmet.cinar1@org.atauni.edu.tr

Serhat KOÇAK

Bilgisayar Mühendisi
Atatürk Üniversitesi
serhat.kocak@org.atauni.edu.tr

Özet

Savunma sanayinde veya doğal afetlerde özellikle insan can güvenliği açısından tehlikeli olabilecek durumlarda robotların kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, arazi keşifleri, mayın arama, cephane taşıma, doğal afetlerde arama kurtarma çalışmaları gibi alanlarda kullanılabilecek bir robotun tasarlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla, zemini düzgün olmayan arazi şartlarında dengeli bir şekilde hareket edebilen, durabilen, hızlanabilen ve bir engel gördüğü zaman engeli aşabilen altı bacaklı bir robotun tasarımı amaçlanmıştır. Robot için gerekli materyaller temin edildikten sonra atölyede yapılan çalışmalarla robotun mekanik tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda kullanılan bacakların esnekliği ile robotun arazi şartlarında daha rahat hareket edebilmesi temin edilmiştir. Motorların eş zamanlı hızı ve yönü kontrol edilerek robotun dengeli bir şekilde hareketi sağlanmıştır. Hazırlanan arayüz ile motorlara hız ve yön bilgisi gönderilerek robotun uzaktan kontrolü sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Arazi Robotu, Altı Bacaklı Robot.

Abstract

In the most of the works in defense industry or natural disasters especially in the case of human life safety, robots have been increasingly used during the last decades. In this paper, our goal is to design a robot that can be used in areas such as land

explorations, mine search, ammunition handling, search and rescue operations in natural disasters. For this purpose, it is intended to design a six-legged robot having ability to be moved, stopped or accelerated in a balanced manner and to be able to overcome the obstacle in uneven terrain. Initially, the mechanical design of the robot are carried out with the work done in the mechanical workshop, after obtaining the necessary material. It is provided that the robot can move more easily in terrain conditions by the flexibility of the legs used in the design. Then, the balanced movement of the robot is achieved by adjusting speed and direction control for each motor simultaneously. Finally, the remote control of the robot is provided by sending the speed and direction information to the engines with prepared interface.

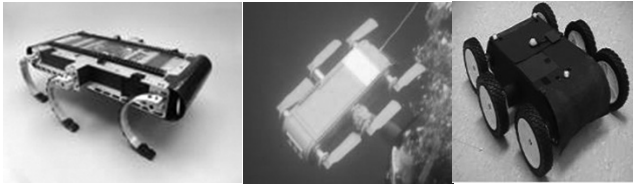
Keywords: Terrain Robot, Six-Legged Robot.

1.Giriş

Son yıllarda arama kurtarma, haritalama, keşif, mayın bulma, paketleme, konum belirleme gibi birçok alanda otonom hareket edebilen gezgin robotlar geliştirilmiştir [1], [4]. Gezgin robotlar tasarlanırken farklı mekanik tasarımlar gerçekleştirilmiş ve hareket etmeleri için tekerlek veya bacak yapıları kullanılmıştır [5]. Robotlar üzerine yerleştirilen algılayıcılar vasıtası ile çevre ile etkileşime girip makine öğrenme yöntemleri kullanılarak kendi kendine karar verebilen sistemler geliştirilmektedir [6].

Gezgin robot üzerine literatürde yapılan çalışmaları incelediğimizde, konum belirleme, haritalama, yol planlama, engelden kaçınarak yol planlama gibi konular araştırmacılar için oldukça popüler konular arasında yer alıyor [7], [8]. Bu çalışmalar gerçekleştirilirken genelde kapalı bir alan içerisinde ve düz zeminde robotun hareket ettirilmesi istenmektedir. Bu durumun en önemli sebebi algılayıcılar tarafından gelen sinyallerin gürültüsüz ve robot denetiminin kararlı olmasının istenmesidir. Bu çalışmalarda genelde tekerlekli gezgin robotlar kullanılmaktadır. Gezgin robotlar zemini düz olmayan bir ortamda hareket ettirilmek istendiği zaman ise farklı sayıda ve yapıda bacaklara sahip robotlar geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur [5], [6]. Bu robotlar engebeli arazide hareket etme, merdiven çıkma gibi zor görevleri yerine getirebilmesine rağmen kararlı ve dengeli bir şekilde hareket ettirilmesi en büyük problemlerin başında gelmektedir.

Biz bu çalışmamızda, zemini düz olmayan ortamlarda hareket edebilen altı bacaklı bir robot ve bu robotun mekanik, elektronik tasarımlarını gerçekleştirmeyi amaçladık. Bu çalışmada tasarladığımız robot, daha önce Pennsylvania Üniversitesi'nde Kod Laboratuvarı'nda tasarlanmış Rhex [5] robotundan esinlenilerek yapıldı. Bizim tasarımı için kullanılan malzemeler ise hem ekonomik hem de istenilen özellikleri sağlamaktadır. Bu sayede tasarladığımız robotun diğer robotlara göre daha ekonomik olması amaçlanmıştır. Şekil 1'de Rhex robot, suda hareket edebilen Aqua Rhex ve tekerlekli Wheel Rhex tiplerinde geliştirilen robotlara ait örnekler gösterilmiştir [10].



(a) Rhex

(b) Aqua Rhex

(c) Wheel Rhex

Şekil 1: Farklı bacak yapılarında geliştirilen Rhex Robot [5],[10]

Tasarımımız üç temel aşamada gerçekleşmiştir: 1) Mekanik Tasarım; robotun şase ve bacak yapısının tasarımı, 2) Elektronik Tasarım; mikrodenetleyici vasıtası ile altı motorun eş zamanlı ve kararlı bir şekilde kontrolü, robotun bilgisayar ile

kablosuz haberleşmesi sağlanarak veri alışverişinin gerçekleşmesini sağlayacak kontrol kartının tasarımı, 3) Bilgisayar Arayüz Tasarımı; bilgisayar vasıtası ile robotun hızının ve pozisyonun kontrol edilmesi aşamalarını içermektedir. Bildirinin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de robotun mekanik, elektronik ve ara yüz tasarımı ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. 3. Bölümde robot ile gerçekleştirilen deneysel sonuçlar verilmiştir. En son bölümde sonuçlar tartışılarak konu ile yapacağımız gelecek çalışmalar anlatılmıştır.

2. Robot Tasarımı

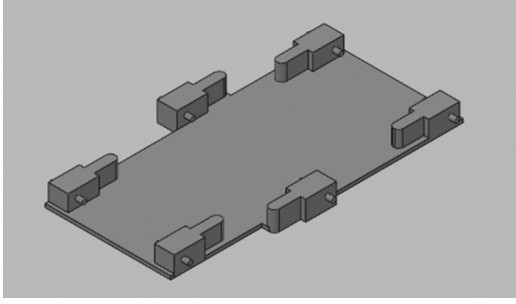
Geliştirilen altı bacaklı robot, mekanik tasarım, elektronik kontrol sistemi tasarımı ve bilgisayar ara yüz tasarımı aşamalarını içermektedir. Bu aşamalar birbiriyle paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Robotun mekanik olarak hem gövde tasarımı hem de esnek bacak yapısı tasarlanmıştır ve üretime geçilmiştir. Bu sayede arazi şartlarında hareket yeteneklerine ve bacak yapısına sahip bir tasarım amaçlanmıştır. Birden fazla motorun eş zamanlı denetimini sağlayabilmek için gerekli kontrol kartları tasarımı ve yazılımları gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ortamında ara yüz tasarlanarak robotun bilgisayar üzerinden denetimi sağlanmıştır. Yapılan bu üç ana tasarım ile ilgili ayrıntılar aşağıda verilmiştir.

2.1.Mekanik Tasarım

Robotun bozuk bir zeminde hareketini sağlayacak ve robotun ağırlığını taşıyabilecek özelliklere sahip altı adet, çalışma voltajı 3-6V, akımı 160-250mA olan DC motor seçildi. Arduino Mega mikro denetleyici ve algılayıcıların üzerine yerleştirildiği, büyüklüğü 32,4 x 16,4 cm olan bir levha özel olarak kestirildi. Şasenin boyutları ve motorların yerleştirilmesi için gerekli hesaplamalar Zhao, J'nin tasarladığı robota göre revize edildi [4]. Gövdenin taşıyacağı toplam ağırlık üzerine yerleştirilecek motor, mikrodnetleyici ve algılayıcılar ile beraber yaklaşık 1,5 kg olarak hesaplandı.

Robotun hareketini ve dengesini sağlayabilmek için motorların ve bu motorlara bağlanacak olan bacakların konumları şekil 2'de gösterilmiştir. Ortadaki bacaklara bağlanan motorlar ile köşegenlere yerleştirilen motorlar arasındaki mesafe 15 cm olarak ayarlandı. Köşegenlerdeki motorlar ortadaki motorlara göre 2 cm daha içeride kalacak

şekilde yerleştirildi. Böylece bacakların hareket sırasında birbirine çarpması engellendi.

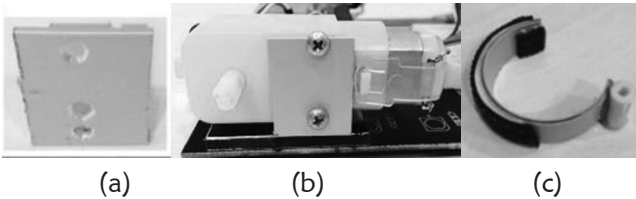


Şekil 2: Bacakların bağlanacağı motorların konumu ve tasarımı Solid Works kullanılarak gerçekleştirildi.

Diğer bir önemli nokta ise levha üzerindeki yük dengesinin sağlanabilmesi için şekil 2’de görüldüğü gibi ortadaki motorların yönleri farklı olarak yerleştirildi. Eğer ortadaki motorlar aynı yönde yerleştirilmiş olsaydı bir taraftaki yük daha ağır olacaktı ve levha dengesi bozulacaktı. Farklı yönlerde yerleştirilmelerine rağmen bacakların bağlanacağı kısımların aynı noktada olmasına dikkat edildi.

Levha üzerinde mikro-denetleyici, motor sürücü devresi ve kullanılacak olan diğer malzemeler için yer ayrıldı. Genişlik bu malzemelerin yerleştirilebileceği şekilde ayarlandı.

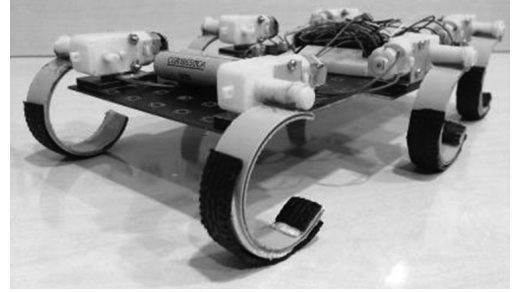
Motorları levha üzerine sabitlemek amacıyla atölye ortamında şekil 3(a)’daki gibi bir mekanizma oluşturuldu. Bu mekanizmanın alt ve yan tarafından açılan delikler ile içine yerleştirilen motorun levhaya vidalanması sağlandı. Sonuç olarak motor levhaya şekil 3(b)’de gösterildiği gibi sabitlenmiş oldu.



Şekil 3: (a) Motorları levhaya sabitlemek için kullanılan mekanizma, (b) Levhaya sabitlenen motor, (c) Bacak yapısı

Motorların dönmesi sonucu robotun hareketini sağlayacak olan altı adet bacak şekil 3(c)’de görüldüğü gibi su borusundan kesilen 7 cm lik boyutlar ile elde edildi. Ayrıca bacakların kaymasını engellemek, sürtünmeyi artırmak, daha

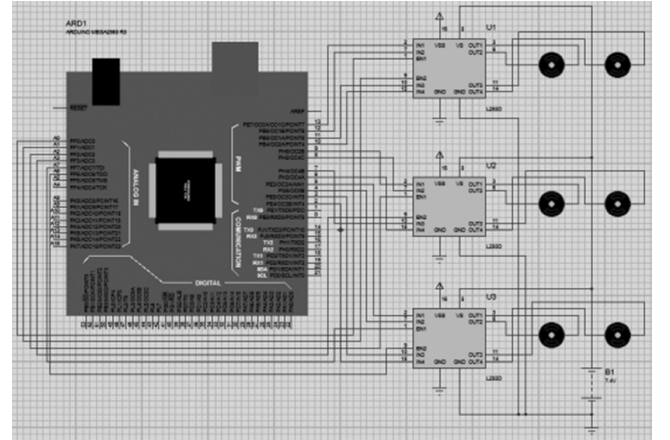
düzgün bir şekilde hareketini sağlamak amacıyla bacakların üzerini kaplayacak olan lastikler bacakları sarmalayacak şekilde kesildi ve yapıştırıldı. Şekil 4’te robotun tamamlanmış mekanik tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 4: Mekanik tasarım

2.2. Elektronik Elemanların Tasarımı

Motorların hızını ve pozisyonunu kontrol etmek için Arduino Mega 2560 mikro-denetleyici kullanıldı. Hız ve yön kontrolü için içerisinde çift H köprüsü bulunduran iki motorun kontrolünü sağlayan L293 motor sürücü devresinden üç adet, USB ile gücü bilgisayardan almak yerine iki adet 3.7V’luk pil ve çalışma voltajı 3-12V arasında olan altı adet DC motor kullanıldı. Şekil 5’te kontrol devresinin Proteusta tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 5: Proteusta motor hız-yön kontrolü

Motor hızları PWM (Darbe genişlik modülasyonu) kullanılarak kontrol edildi. Motor sürücü devresinin enable girişinden hız bilgisi gönderildi ve robotun hızı kontrol edildi. Mikro-denetleyici tarafından, robotun birbirine çapraz olan üç bacağı eş zamanlı ve belirli hızda hareket ettirilerek robotun dengeli bir şekilde hareketi sağlandı. Şekil 6’da eş

zamanlı hareket eden motorların PWM sinyalleri gösterilmiştir. Her bir periyotta uygulanan voltaj süresinin periyoda oranına, doluluk oranı denir. Oluşan kare dalgalar hız hesabı aşağıdaki formüle göre yapılmıştır.

$$V_e = D_o \times V_{max} \quad (1)$$

V e etkin değeri, D o doluluk oranını ve V max en yüksek hız değerini gösterir. Doluluk oranı arttıkça etkin voltaj değeri artmakta ve bununla orantılı olarak motorun hızı artırılabilir. Şekil 6'da görülen birinci kare dalga doluluk oranının %50, ikinci kare dalga doluluk oranının %75, üçüncü kare dalga ise doluluk oranının %100 olduğu durumlarda oluşmuştur. Analogwrite komutu ile mikrodnetleyici tarafından hız kontrolü sağlanmaktadır.



(a) analogWrite(127,5), doluluk oranı %50



(b) analogWrite(191,25), doluluk oranı %75



(c) analogWrite(255), doluluk oranı %100

Şekil 6: Motor hızını kontrol etmek için kullanılan PWM kare dalgalar aıt örnekler

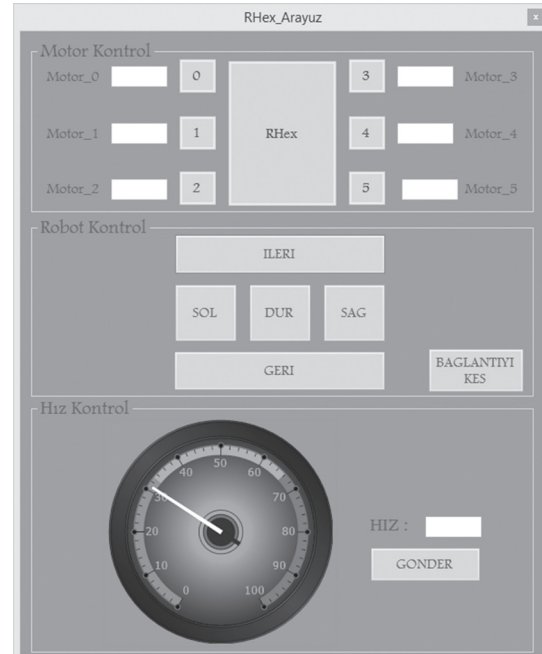
2.3.Arayüz Tasarımı

Günümüzde robotlar için yapılan yazılımlar artık ayrı birer ürün değil, robotların birer parçası haline geldiler. Bu projede, bilgisayardan ara yüz programı ile mikrodnetleyici arasındaki haberleşme sayesinde robot kontrolü yapılmaktadır. Bilgisayar üzerinde robotun denetimini sağlayacak C# yazılım platformunda ara yüz geliştirildi. Yardımcı program olarak DevExpress kullanıldı ve Microsoft Visual Studio ile birlikte arayüz tasarımı yapıldı. Geliştirilen bu görsel ara yüz ile motorların hızı ve yönünün kontrol edilmesi sağlandı. Kullanılacak ara yüz iki formdan oluşmaktadır.



Şekil 7: Robotun seri porta bağlanmasının gerçekleştirilmesi

Seçilen doğru port ile seri porta bağlantı sağlanır ve robotun kontrolünün gerçekleştirildiği ara yüze geçilir. Seçim yanlış olursa uyarı mesajı verilir. Şekil 7'de seri porta bağlanması ile ilgili tasarım gösterilmiştir. Şekil 8'de gösterilen ara yüz ile altı motordan gelen pozisyon bilgileri motor kontrol alanında her motor için ayrılan bölgelerde gösterilir. Robot kontrol alanında ise robotun gideceği yön belirlenir. İleri, geri, sağ, sol butonları ile robotun hareketi sağlanır. Acil durum anında dur butonu ile robotun durmasını sağlamak için seri porta motorların açısı "0" olarak gönderilir. "BAĞLANTIYI KES" butonu seri port ile bağlantıyı kesmek için kullanılmıştır. Hız kontrol alanındaki metine yazılan hız değeri, seri porta gönderilerek motor hızlarının ayarlanması sağlanır. DevExpress programı ile eklenen hız göstergesinde robota gönderdiğimiz hız değeri gösterilmiştir. Tasarlanan bilgisayar ara yüzün genel hali şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8: Bilgisayar arayüz tasarımının genel görünümü

3. Deneysel Sonuçlar

Gezgin robotun mekanik, elektronik ve yazılım tasarımı tamamlandıktan sonra robotu dengeli bir şekilde hareket ettirmek için deneyler gerçekleştirilmiştir. Açık çevrim denetimli gerçekleştirilen bu deneylerde, robot bacakları eş zamanlı farklı hızlarda hareket ettirilerek robotun düşmeden ve kendine zarar vermeden hareket ettirilmesi amaçlanmıştır. Etkin voltaj hesaplamaları her kare dalga için sırayla hesaplanmıştır. Denklem (1) ile hesaplanan ve şekil 6'da gösterilen her bir PWM sinyalinin etkin değeri tablo 1'de gösterilmiştir.

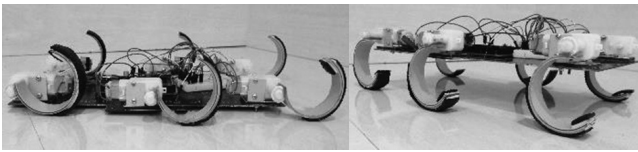
Kare Dalgalar	Maksimum Hız	Doluluk Oranı	Etkin Değer
1)	255	%50	127,5
2)	255	%75	191,25
3)	255	%100	255

Tablo 1: Farklı doluluk oranlarına göre etkin hız değerleri

Hesaplanan hız değerleri mikrodenetleyiciden analog inputla gönderilerek motorun istenilen hızda gitmesi sağlanmıştır.

Robot harekete başlamadan önce, motorların eş zamanlı hareketini ve motorların pozisyonlarının ölçülmesinin sağlanması için bir başlangıç pozisyonu belirlendi. Şekil 9(a)'da robotun zemin üzerinde harekete başlamadan önceki pozisyonu gösterilmiştir.

Robot harekete başlarken şekil 9(b)'deki gibi altı bacağın üzerine ayağa kalkarak yürümeye hazır bir pozisyonda motorlara uygulanacak hız bilgisini beklemeye başladı.



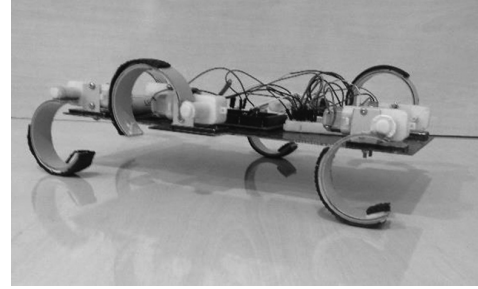
(a) $t=0\text{sn}$

(b) $t=0.5\text{sn}$

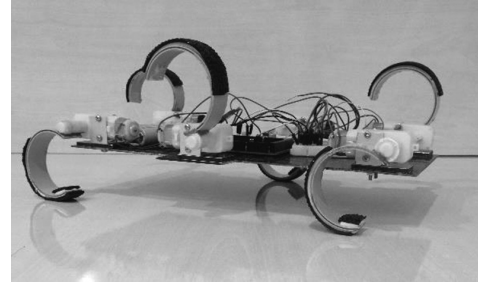
Şekil 9: Robotun 0-0.5sn aralığındaki hareketi

Robotun dengeli bir şekilde hareketini sağlamak amacı ile farklı hızlarda açık çevrim denetimli deneyler gerçekleştirildi. Bu deneyler sonucunda her üç çapraz motor 4,25m/sn hız ile döndürülerek

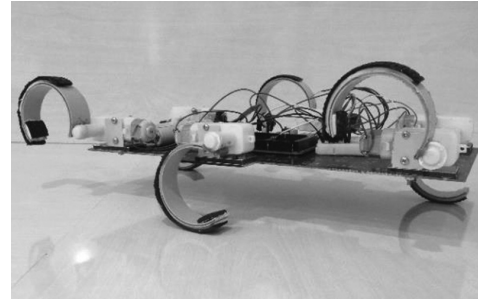
robotun bir doğrultuda hareket etmesi sağlandı. Şekil 10'da robotun 4,25m/sn hızda dengeli bir şekilde hareket etme sonuçları gösterilmiştir.



(a) $t=1\text{sn}$



(b) $t=1.5\text{sn}$



(c) $t=2.5\text{sn}$

Şekil 10: Altı bacaklı arazi robotunun 2.5sn boyunca dengeli bir şekilde hareketine ait sonuçlar gösterilmiştir.

Deneyler gerçekleştirilirken karşılaşılan en önemli problem, motorların eş zamanlı çalışmasını sağlamak oldu. Kullanılan motorların düşük hızlarda yeterli tork değerlerini üretememesi, yüksek hızlarda ise denetiminin sağlanamaması karşılaştığımız problemlerin başında gelmektedir. Kapalı çevrim bir denetim sistemi oluşturmak için motorlardan gelen enkoder bilgilerinin hassasiyeti yetersiz kalmıştır. Bu durumlara rağmen robotun dengeli bir şekilde hareket etmesi sağlanmıştır.

4.Sonuç

Bu çalışmada düzgün olmayan zeminlerde hareket etme yeteneğine sahip altı bacaklı robotun mekanik ve elektronik tasarımı gerçekleştirildi. Altı bacaklı robotun üç bacağı sağda, üç bacağı solda olacak şekilde yerleştirildi. Robotun dengeli bir şekilde hareket edebilmesi için motorlar eş zamanlı çalıştırıldı ve açık çevrim denetimi sağlandı. Bacak yapısı sayesinde arazi şartlarında gidebilmesi amaçlandı. Robotun bilgisayarda ara yüz tasarımı yapılarak robotun bilgisayar tarafından kontrol edilmesi sağlandı.

Bir sonraki çalışmamızda, motor enkoderlarından alınan bilgileri kullanarak geri beslemeli bir denetim sistemi geliştirilerek motorların eş zamanlı çalışması amaçlanmaktadır. Geliştirilecek olan kapalı denetim sistemi ile robotun merdiven tırmanma, engeli aşma gibi görevleri yerine getirebilmesi amaçlanmaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A numaralı Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı tarafından desteklenmektedir.

6.Kaynaklar

[1] Jennings JS., Whelan G. and Evans WF., "Cooperative search and rescue with a team of mobile robots.", IEEE 8th Int. Conf. on Advanced Robotics, Monterey, California, U.S.A., 7-9 Jul 1997, Vol. 4, pp. 193-200.

[2] Thrun S., Burgard W. and Fox D., "A real-time algorithm for mobile robot mapping with applications to multi-robot and 3D mapping.", IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, San Francisco, California, U.S.A., 24-28 April 2000, Vol. 4, pp. 321-328.

[3] Zhao J., Zhu L., Liu G. and Han Z., "A modified genetic algorithm for global path planning of searching robot in mine disasters.", IEEE Int. Conf. On Mechatronics and Automation, Changchun, China, 9- 12 August 2009, pp. 4936-4940.

[4] Kwok ASM. and Sentis L., "Motivation and Design Considerations of a Compliant Mobile Base for Human-Centered Robots.", Undergraduate Research Journal, California, U.S.A., 30 Aug. 2013, Vol. 9, pp. 69.

[5] Saranlı U., Buehler M. and Koditschek DE., "Rhex: A simple and highly mobile hexapod robot.", The Int. Journal of Robotics Research, U.S.A., 1 July 2001, Vol. 20, pp. 616-631.

[6] Glasius R., Andrzej K., and Stan G., "Neural network dynamics for path planning and obstacle avoidance.", Neural Networks, U.S.A., 1995, Vol. 8(1), pp. 125-133.

[7] Ma ZQ. and Yuan ZR., "Real-time navigation and obstacle avoidance based on grids method for fast mobile robot.", Algorithms and Architectures for Real- Time Control, IFAC Workshop, Seoul, Korea, 31 Aug.- 2 Sept. 1992, pp. 91-95.

[8] Henry P., Krainin M., Herbst E., Ren X. and Fox D., "RGB-D mapping: Using depth cameras for dense 3D modeling of indoor environments.", 12th Int. Symposium on Experimental Robotics, Delhi, India, 1 Jan 2014, pp. 477-491.

[9] Murphy MP., Saunders A., Moreira C., Rizzi AA. and Raibert M., "The littledog robot.", Int. Journal of Robotics Research, Feb 2011, Vol. 30(2), pp. 145- 149.

[10] Galloway KC., Haynes GC., Ilhan BD, Johnson AM., Knoph R., Lynch GA., Plotnick BN., White M. and Koditschek DE., "X-RHex: A highly mobile hexapedal robot for sensorimotor tasks.", University of Pennsylvania, Technical Reports, U.S.A., 8 Nov 2010, pp. 4-7.

BİTİRME PROJELERİ SERGİSİ 2016, 10-11 HAZİRAN TARİHLERİNDE DÜZENLENECEK

Bitirme Projeleri Sergisi (BPS) 2016, 10-11 Haziran tarihlerinde İvedik OSB Sergi ve Toplantı Salonları'nda gerçekleştirilecek. EMO Ankara Şubesi ; Ankara Üniversitesi, Atılım Üniversitesi, Başkent Üniversitesi, Bilkent Üniversitesi, Bozok Üniversitesi, Çankaya Üniversitesi, Erciyes Üniversitesi, Gazi Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, ODTÜ, TED Üniversitesi, Turgut Özal Üniversitesi, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, İvedik OSM işbirliği ile yapılacak Bitirme Projeleri Sergisi'ne (2016) katılım için son başvuru tarihi 15 Mayıs 2016.

Etkinlikler, tüm üniversitelerinin Odamızla ilgili bölümlerinde okuyan ve yüksek lisans yapan öğrencilerine açık olup; elektrik, elektronik, haberleşme, biyomedikal, kontrol, otomasyon kapsamındaki projelerin ve bildirilerin sergilenmesine olanak sağlanacak. Etkinlik ile ilgili gelişmeleri www.2016.bps.org.tr adresinden takip edebilirsiniz.

