

BİLGİSAYAR KONTROLLÜ GEZGİN ROBOT UYGULAMASI

Seçil ÖZEN¹

Ekin YILDIZ²

Tuncay UZUN³

^{1,2,3}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

Yıldız Teknik Üniversitesi, 80750, Beşiktaş, İstanbul

¹e-posta: sozen@yildiz.edu.tr

²e-posta: yekin@yildiz.edu.tr

³e-posta: uzun@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler: Gezgın robot, denetim donanımı, görsel kullanıcı arabirimi

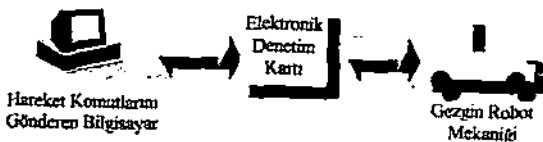
ABSTRACT

The control software and hardware of a computer controlled mobile robot prototype that will realize the steps, which are necessary to achieve the goal procedure, is designed and implemented. Designed system is an in-door mobile robot. The electronic control hardware which serves as an interface between the mechanical hardware and motion planning unit is realized. The motion planning unit is a personal computer with a developed Graphic User Interface. It is provided that the mobile robot understands and executes the given instructions received from a personal computer.

1. GİRİŞ

Gezgın robot; verilen bir yön ve konum boyunca otomatik olarak hareket edebilen, serbest programlanabilir, özerk veya uzaktan işletilen bir araçtır [1].

Bu çalışmada gerçekleştirilen gezgın robot bir "teleoperated" (uzaktan işletilen) robottur. Bu robot, operatör tarafından uzaktan gönderilen komutları yerine getirir [2]. Kullanıcının kişisel bilgisayar (PC) yardımıyla girdiği karmaşık komutlar temel hareket komutlarına dönüştürülür ve elektronik denetim kartına iletilir. PC ile mekanik sistem arasında bir arayüz işlevi gören elektronik denetim kartı, PC'den aldığı verileri mekanik sistem için gerekli elektriksel işaretlere dönüştürür (Şekil-1). Denetim kartı, komut biçimini ve daha sonra da komutları ayırt ederek, hareket organlarını komutların gerektirdiği şekilde hareket ettirir.



Şekil-1. Tasarlanan gezgın robot sistemi

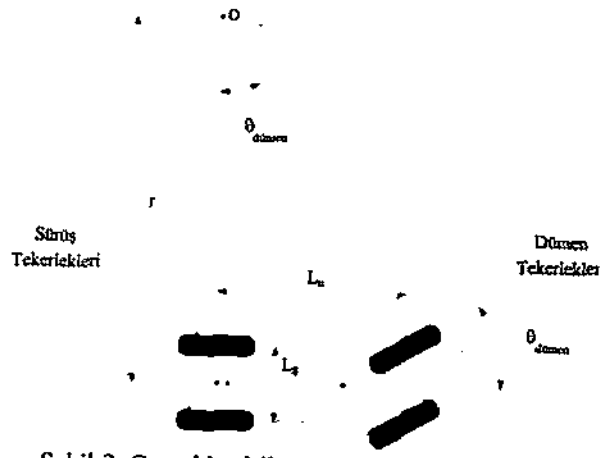
Gezgın robot sistemi dört ana bölümden oluşmaktadır:

1. Gezgın taban
2. Operatör (komuta) birimi
3. İşletim ve denetim donanımı
4. Haberleşme birimi

2. ROBOT MEKANİĞİ

Robotun mekanikini, gezgın taban ve hareket aksamaları oluşturmaktadır. Robotun hareketini sağlayan birim, sürüş mekanizması, güç ünitesi, haberleşme ünitesi ve denetim birimini taşıyabilecek kadar güçlü olmalıdır. Gezgın taban, manevra kabiliyeti ve hız bakımından çalışma ortamına uygunluk göstermelidir.

Bu çalışmada kullanılan gezgın mekanik sistem dört tekerlek üzerinde hareket etmektedir. Bir DC motor yardımıyla arka iki tekerlekten sürülen bu sistemde robotun yön değiştirmesi ön tekerleklere bağlı dümen mekanizması sayesinde sağlanmıştır. Dümen mekanizmasının hareketini ise bir servo motor sağlar.



Şekil-2. Gerçekleştirilen gezgın robot için dönüş yarıçapı

Robotun dönüş hareketi sırasında tekerlekler birbirinden farklı uzunluklarda yaylar çizer [3]. Ancak, sürüş ve dümen tekerlekleri aksları üzerinde birer diferansiyel dişli sistemi taşımaktadır ki, bu şekilde aynı aksa bağlı tekerlekler birbirinden farklı hız ve yönlerde hareket etme serbestliğine sahip olurlar. Bu nedenle hesapların yalnız bir tekerlek için yapılmasında bir sakınca yoktur.

Robot, PC'den komutları sıra ile almakta ve bir sonraki komutu alıncaya kadar eski komutu işlemektedir. Bu nedenle komutların gönderilmeleri arasında geçen süre uygun mesafe ve yönlennenin sağlanabilmesi için önemlidir. Dönüş komutları için bu süre robotun yönlennme açısı, dönüş yarıçapı ve çizgisel hızı cinsinden hesaplanabilir. Yönlennme açısı ve yarıçap ile robotun üzerinde hareket edeceği yayın uzunluğu belirlenecek ve belirlenen hızda bu yayın ne kadar sürede çizileceği de bize komutun işleme süresini saniye cinsinden verecektir.

$$\text{Komutun İşlenme Süresi} = \text{yuvarla} \left(\frac{\pi \cdot r \cdot \theta_{\text{dümen}}}{180 \cdot V_{\text{sürüş}}} \right) \quad (1)$$

Robot farklı yarıçaplarda yaylar çizerek aynı yönlennme açısını sağlayabilmektedir. Farklı yarıçaplar çizilebilmek için ise dümen tekerleklerinin farklı açılarda yönlennmesi gerekmektedir (Şekil-2). Bu açı $\theta_{\text{dümen}}$ olarak adlandırılmıştır. $\theta_{\text{dümen}}$ derece cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\theta_{\text{dümen}} = \left[\text{ArcTan} \left(\frac{L_u}{r} \right) \right] \left(\frac{180}{\pi} \right) \quad (2)$$

Dümen tekerlekleri bir servo motor yardımıyla hareket ettirilir. Gerekli dümen açısını ($\theta_{\text{dümen}}$) sağlamak amacıyla servo motorun hangi konuma geleceğini saptamak için bir dönüşüm yapılır. Bu dönüşüm dümen mekanizmasının yapısına bağlıdır. Kullandığımız yapı için θ_{servo} derece cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\theta_{\text{servo}} = 3 \cdot \text{yuvarla}(\theta_{\text{dümen}}) \quad (3)$$

Denetim kartı servo motoru uygun konuma getirebilmek için PWM modülasyonlu bir işaret kullanmaktadır. Bu nedenle, servo açısı PC'den denetim kartına açı olarak değil, darbe boşluk oranı olarak gönderilir. Servo kontrol işaretinin periyodu 20ms'dir. Ancak darbenin uzunluğu 0:75 ile 2,25ms arasında doğrusal bir şekilde değişmektedir. Bu aralıkta bir darbe uzunluğu servo açısında $\pm 90^\circ$ lik bir aralıkta değişime denk düşer. Buradan hareketle, servo açısının darbe boşluk oranı karşılığı PC tarafından, aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Komut Kelimesi} = 64 \cdot \text{yuvarla} \left(\frac{750 + (90 - \theta_{\text{servo}}) \left(\frac{1625}{180} \right)}{4} \right) \quad (4)$$

Robot, dümen mekanizmalı olduğundan belli bir yarıçap ile dönecektir. Bu nedenle, kullanıcının ayrıca yarıçap bilgisini girmesi gerekmektedir. Bu bilgi PC'nin servo açısını ve komut işleme süresini hesaplamasında kullanılacaktır. Fakat robotun boyutlarından dolayı, kullanıcının girebileceği yarıçapın bir minimum değeri vardır. L_u robotun sürüş ve dümen tekerlekleri arası uzunluğu olmak üzere bu değer (r_{min}), çalışmada kullanılan mekanik yapı için cm cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$r_{\text{min}} = \frac{L_u}{\tan(\theta_{\text{dümen max}})} \quad (5)$$

$\theta_{\text{dümen}}$ en fazla $\pm 30^\circ$ lik konum alabilmektedir. Robotun sürüş ve dümen tekerlekleri arası uzunluğu (L_u), 26 cm olduğundan, dönme yarıçapı (r_{min}) (5) numaralı denklemden en az yaklaşık 46 cm olmaktadır.

Gezgin robotun aldığı doğrusal yol "mesafe" olarak alınırsa, robotun ileri veya geri hareket ettiği durumlarda komutun işleme süresi saniye cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\text{Komutun İşlenme Süresi} = \frac{\text{mesafe}}{V_{\text{sürüş}}} \quad (6)$$

3. İŞLETİM VE DENETİM DONANIMI

Gezgin robot işletim ve denetim donanımı, robot mekanizmasının operatör tarafından verilen komutları gerçekleştirmesini sağlar. Operatör birimi ve mekanik sistem arasında bir arayüz oluşturur ve komutların doğru bir şekilde gerçekleştirilmesinden sorumludur. Operatörün, robotun durumundan haberdar olmasını da bu birim sağlar. Operatöre iletilmesi gereken verileri, haberleşme birimi yardımıyla gönderir. Geliştirilen gezgin robot donanımı, bir gezgin robotun gezinim için gerekli temel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu donanımın şu özellikleri taşımaları gerekmektedir:

- Kişisel bilgisayar ile haberleşmeyi sağlamak,
- Gezgin robot mekanizmasının hareketliliği için gerekli elektriksel işaretleri üretmek,
- Algılayıcılardan gelen bilgileri derlemek.

Bu özellikleri taşımaları amaçlanan donanımda bir MICROCHIP PIC16F877 mikrodenetleyici kullanılmıştır [4]. Denetim kartı, 1 DC motor ve 2 servo motoru sürececek şekilde tasarlanmıştır. 5 örnek ve 8 sayısal girişin yanı sıra DC motora bağlı 4 durumlu mil kodlayıcı bilgisini kontrol girişi olarak alır. Mikrodenetleyici örnek/sayısal dönüştürücü girişlerinden biri ile pilin gerilimini kontrol ederek yetersiz gerilim değerlerine düşülmesi halinde kullanıcıyı uyarır. Örnek/Sayısal dönüşüm için kullanılan dönüştürücü, kullanılan mikrodenetleyicinin bir çevre birimidir. Program ve veri belleği olarak mikrodenetleyicinin tümleşik RAM ve Flash ROM'u, seri haberleşme için ise mikrodenetleyicinin USART çevre birimi kullanılmaktadır.

Gezgin robot mekanizmasının hareketini sağlayan iki güncelleme, sürüş için kullanılan DC motor ve dümen mekanizmasını hareket ettiren servo motordur. DC motor iki yönde ve 10 ayrı hızda çalışabilmektedir. Motorun farklı hızlarda çalışması darbe genişlik modülasyonu (PWM) işaret ile sürülmesiyle sağlanmıştır. Ancak bu işaret yön bilgisi taşımaz. Hızın 0 olması da gezgin robotun duruyor olmasını garanti edememektedir. Bu nedenle DC motor sürücü katına PWM işareti ile birlikte gönderilecek olan yön ve fren bilgisi taşıyan iki işaret daha üretilmektedir. Servo motorun farklı açılarda konum alması da PWM işaretlerle sağlanır. 50 Hz'de %3,75-%11,25 arasında değişen darbe boşluk oranına sahip bir kontrol işareti ile servo motor -90° - $+90^{\circ}$ arasında istenen konuma getirilebilmektedir. Bu işaretin üretimi için mikrodenetleyicinin kendi PWM üretici kullanılmıştır. Bu şekilde, servo motor 10 bitlik bir çözünürlükte istenen konuma getirilebilmektedir. Gezgin robotun geliştirilebileceği düşünülerek donanım ikinci bir servo motorun bağlanabileceği şekilde tasarlanmıştır.

Donanım çalışması sırasında, sahip olduğu 8 sayısal girişi sürekli kontrol ederek durumlarında herhangi bir değişim olması halinde PC'yi yeni durumdan haberdar etmektedir. Yapılan uygulamada bu girişlerden 6'sına, robot üzerine çeşitli yönlerde yerleştirilmiş olan dokunma algılayıcıları bağlanarak robotun herhangi bir engelle çarpıp çarpmadığı kontrol edilmiştir.

Ayrıca donanım, sahip olduğu 5 örneksel girişi de sıra ile 10 bit çözünürlükte sayısal değere çevirerek saklamaktadır. Böylece, donanıma örneksel çıkışlı algılayıcıların da bağlanması mümkün kılınmıştır. Bu girişlerden biri pil gerilim seviyesinin kontrolü için kullanılmaktadır.

Denetim kartının yazılımı makine dilinde yazılmıştır. Program, donanımın gerekli ön şartlamalarını yapmak, PC ile haberleşmeyi sağlamak, hareket için gerekli elektriksel işaretleri üretmek ve algılayıcılardan alınan bilgileri işlemek gibi görevlerin yanı sıra PC'den alınan komutların da çözülmesiyle hareket bilgisine dönüştürür. Çok görevli (multi-tasking) anlayışla oluşturulan yazılım, tüm donanımın gerçek zamanda çalışabilmesine olanak sağlar.

4. OPERATÖR BİRİMİ

Operatör birimi, mimari hiyerarşinin en üstünde yer almaktadır. Robotun kumandası bu birimden yapılır. Operatör, robotun gerçekleştirilmesini istediği komutları bu birimden girer. Birim, kullanıcı dostu görsel bir arayüze sahiptir ve karmaşık olmayan, anlaşılır komutlarla çalıştırılabilmektedir.

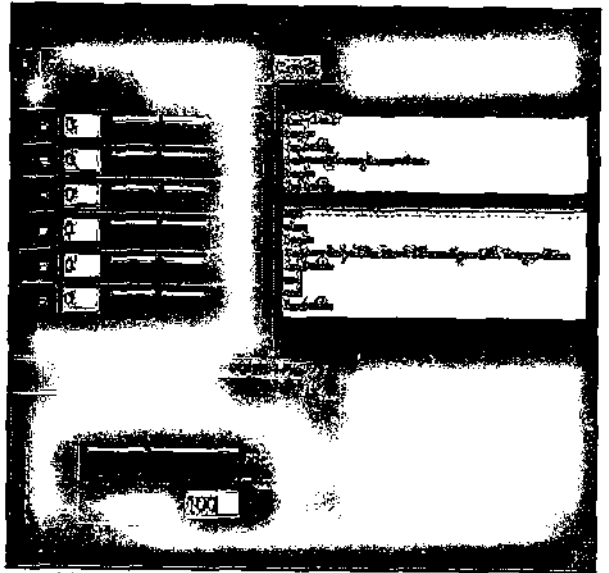
Program, Borland Delphi 3'te [5-6] geliştirilmiş olup, Windows işletim sistemi altında çalışmaktadır. Seri haberleşme için, MS Visual Basic kontrolü olan Microsoft Comm Control 6.0 (Sürüm 1.1) TMSComm ActiveX kontrolü kullanılmıştır.

Yazılım, robotu iki ayrı modda çalıştırabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcı bu modları programdaki Çalıştır menüsünden seçerek çalıştırabilmektedir.

Bunlar, Doğrudan Çalışma Modu ve Kayıttan Çalışma Modudur.

Doğrudan Çalışma Modunda komutlar robota direkt olarak verilmektedir. Robot, kullanıcının görsel arabirimdeki kontroller üzerinde yaptığı her değişikliğe hemen cevap verebilmektedir. Fakat bu modda komutların herhangi bir yere yazılması, kaydedilmesi veya saklanması söz konusu değildir. Komutlar anlık olarak işlenir ve cevap alınır. Bu mod denetim kolu (joystick) kontrolüne benzerdir.

Kayıttan Çalışma Modunda ise komutlar, robota kayıttan verilmektedir. Bunun için programda bir görev listesi mevcuttur. Kullanıcı, önce görev listesine, kaydedilmiş bir komut dizisini mi yükleyeceğine, yoksa yeni bir komut dizisini mi gireceğine karar verecektir. Sonuçta görev listesine girilen veya yüklenen komutlar sıra ile çalıştırılıp, robota gönderilir. Kullanıcı programdan çıkmak istediğinde ise program, yaratılan komut dizisinin kaydetme sorgusunu yapar.



Şekil-3. Robot programı görsel kullanıcı arabirimi

Genel olarak yazılım, "ileri git", "geri git", "saga dön", "sola dön" gibi temel, basit ve kullanıcının kolay anlayabileceği komutlardan oluşmuştur. Program bu temel komutların görüntülenebileceği bir editöre sahiptir. Bu editör salt okunur yapılarak kullanıcı hataları ortadan kaldırılmıştır. Komut girişleri programdaki "Görev Ekle" düğmeleri ile yapılmaktadır. Program denetimi sayesinde eksik komut girişleri de engellenmektedir.

Programda DC motorlar on ayrı hız kademesinde hareketlendirilebilirler. Dokunma algılayıcılarından gelen bilgi, kullanıcı tarafından gözlemlenebilmekte; böylece kullanıcı, robotun çevresi hakkında bilgi alabilmektedir. Veri giriş-çıkışı yapılacak olan port, kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Kullanıcı, COM1 veya COM2 portlarından birini seçebilmektedir. Programın menüsünden dört farklı iletişim hızından biri (1200 bit/saniye, 2400 bit/saniye, 9600 bit/saniye, 14400 bit/saniye) seçilebilmektedir.

Ayrıca kullanıcı istediğinde, görev listesini yazıcıya gönderebilmektedir.

Programın görsel kullanıcı arabirimi, sisteme bir robot kol eklenebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcı, bu robot kolun eklem sayısını seçebilmekte ve eklemlerde kullanılan servo motorlara göre fiziksel erişim açılı aralıklarını değiştirebilmektedir.

5. HABERLEŞME BİRİMİ

Haberleşme birimi, komuta birimi ile denetim birimi arasında bilgi alışverişini sağlar. Robotun çalışacağı ortama ve komuta biriminin robottan uzaklığına uygun sistemler seçilir.

Bu çalışmada, operatör komuta birimi ile işletim ve denetim birimi arasındaki haberleşme, RS232 portu üzerinden kablo bağlantısı ile yapılmaktadır. Haberleşme seçimli 4 ayrı hızda 1 başla, 1 dur biti ile eşliksiz 8 bit veri biçiminde yapılmaktadır.

PC ve denetim kartı asenkron seri veri biçiminde haberleşmektedir. Her temel komut ve denetim kartından PC'ye gönderilen algılayıcı durum bilgisi 1 bayt veri şeklindedir. Komutlar ve algılayıcı durum bilgileri, gönderen birim tarafından düzenlendikten sonra alıcı birim tarafından çözümlenerek değerlendirilir.

6. KOMUT YAPISI

Gezgin robotun istenen şekilde hareket etmesi, sürüş motorunun hız ve dönüş yönü ile dümen mekanizmasını hareket ettiren servo motor açısının kontrol edilmesi ile sağlanır. Bu nedenle, operatörün verdiği komutların; DC motor hızı ve yönü, dönüşün olup olmadığı, dönüş varsa servo açısı bilgilerini taşımaları gerekmektedir. Dönüş yönü servo açısı bilgisinin içine gömülmüştür.

Servo açısı, komut uzunluğunu etkileyen önemli bir faktördür. Bu durumda oluşturulan komut dizgesinde (Şekil-4), gezgin robot komutlarının uzunlukları; dönüş yoksa bir bayt, dönüş varsa üç bayt (Şekil-5) olmaktadır.

bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
hız3	hız2	hız1	hız0	D	Y	0	0

Şekil-4. Gerçekleştirilen gezgin robot için temel komut yapısı

- bit0 : Kullanılmıyor, 0 okunur.
- bit1 : Kullanılmıyor, 0 okunur.
- bit2 : Yön göstergesi (1 ise ileri, 0 ise geri yönde hareket var)
- bit3 : Dönüş göstergesi (1 ise dönüş var, 0 ise dönüş yok)
- bit4-7 : DC motor için hız kademesi

Robot, on ayrı hız kademesinde hareket edebilmektedir. Komutlarda bu hız değerleri, kademe numaralarıyla belirtildiğinden dört bitlik bir bölge yeterli olmuştur. Kontrol kartı motora göndereceği hız

bilgisini, aldığı hız kademe verisinden hesaplayacaktır.

bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
açı9	açı8	açı7	açı6	açı5	açı4	açı3	açı2

bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
0	0	açı1	açı0	0	0	0	0

Şekil-5. Gerçekleştirilen gezgin robotun dönüş komutu için 2 baytlık ek komut yapısı

Denetleyici kart; işleyeceği komutu alınca ilk olarak bit3'ü kontrol ederek bunun bir dönüş komutu olup olmadığını belirler. Eğer işlenecek komut dönüş komutu değil ise (bit3: 0); PC, yön şartlaması ve hız ayarlamasını içeren bir baytlık temel komut kelimesini gönderir. Ancak eğer bir dönüş komutu ise (bit3: 1); PC, temel komut kelimesine ek olarak, on bitlik servo açısı bilgisine ait iki baytlık veri ile birlikte, üç bayt veri gönderir. Servo açısı verisi daha hassas bir dönüş sağlamak amacıyla on bit olarak belirlenmiştir. Bu on bitin, en ağırlıklı sekiz biti ikinci baytta, ağırlıksız iki biti ise üçüncü baytın dört ve beşinci bitlerine yerleştirilir. Bunun nedeni denetim kartında bu bitlerin bir kontrol yazmacının aynı numaralı bitlerine yazılmasıdır.

7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen donanım ile farklı elektriksel çıkışlara sahip algılayıcıların bağlanabileceği bir ara yüz oluşturulmuştur. Bu donanım, yazılımda yapılacak geliştirmelerle, optik, kızıl ötesi ve ses üstü gibi algılayıcılardan gelecek bilgileri değerlendirebilecek yapıya sahiptir. Gerçekleştirilen gezgin robot elektronik denetim donanımı, çevrim içi olarak gerçek zamanda çalışmaktadır. Aldığı komutları anında işleyebilmekte ve planlama birimini hareket ortamında oluşan değişikliklerden anında haberdar edebilmektedir. Elektronik denetim donanımının bu özellikleri, gezgin robot için ortamdaki belirsizliklere uyum gösterecek planlama ve denetim yazılımlarının geliştirilmesine olanak sağlar.

Geliştirilen elektronik denetim donanımı, üst seviye bir planlama birimine bağlanmaktadır. Bu planlama biriminin varlığı, sisteme serbest programlanabilirlik özelliği, esneklik kazandırmaktadır. Bu esneklik, gezgin robotun farklı uygulamalarda kullanılabilmesini sağlar.

Bu çalışmada planlama birimi olarak bir PC seçilmiştir. Bunun sebebi, PC'nin robot kontrol algoritmalarının geliştirilmesinde büyük yazılım desteği sağlaması, kullanıcı için monitör, klavye ve fare gibi birimlerle kullanması kolay ve bilindik bir ortam sunmasıdır. Hızlı işlem potansiyeli ile, ileri algoritmaların uygulanmasında da imkan sağlamaktadır. Görüntü işleme gibi yoğun işlem gerektiren uygulamalarda da PC kullanılması

kaçınılmazdır. Ayrıca PC, robot-kullanıcı ilişkisini sağlayacak görsel bir arabirim oluşturulmasına izin verir. Kontrol edilebilmesi için robotun hemen her yerde bulunabilen bir PC'ye bağlanabilmesi sistemin maliyetini düşürmektedir.

Çalışmada, kullanıcı hatalarına izin vermeyen yapısıyla kullanması kolay bir robot yazılımı geliştirilmiştir.

İncelenen çalışmalarla, geliştirilen gezgin robot programı karşılaştırıldığında; programın diğerleri gibi kullanıcı-robot ilişkisini sağlayan bir görsel kullanıcı arabirimine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca program, gezgin tabanın sırayla komutları alıp işleyebileceği ve kullanıcının robotun o an hangi komutu işlediğini görüp, gerektiğinde müdahale edebileceği bir komut listesine sahiptir.

Gezgin robotlarda, kontrol algoritmalarının üretilmesi için algılayıcılardan gelen geribesleme verilerine ihtiyaç vardır. Dokunma algılayıcıları da basit kullanımları nedeniyle daha önce yapılan gezgin robot çalışmalarının hemen hepsinde yer almıştır. Geliştirilen yazılım da diğer çalışmalarda olduğu gibi dokunma algılayıcılar için algılayıcı kontrolü yapmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Aksun, B., Mobile Robots, M. Sc. Thesis, January 1996.
- [2] Everett, H. R., (1995), Sensors for Mobile Robots : Theory and Application, A K Peters Ltd.
- [3] Rajagopalan, R., (1997), "A Generic Kinematic Formulation For Wheeled Mobile Robots", Journal of Robotic Systems, 1997, 14(2): 77-91.
- [4] Microchip Technology Inc., (1999), 28/40-pin, 8-bit CMOS FLASH Microcontrollers Microchip PIC 16F87x Datasheet, Chandler.
- [5] Karagülle, İ., Pala, Z. (1996), Borland Delphi 16 & 32 Bit ile Visual Programlama, Türkmen Kitapevi.
- [6] Yanık, M., Borland Delphi ile Görsel Programcılık, Sistem Yayıncılık, Haziran 1996.