

MOBİL ROBOTLAR İÇİN PID POZİSYON KONTROLLÜ ULTRASONİK MESAFE ÖLÇÜM SİSTEMİNİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Nihat YILMAZ¹ Şeref SAĞIROĞLU² Ercan YALDIZ³ Mehmet BAYRAK⁴

^{1,3,4}Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, 42031-Konya.

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Maltepe-Ankara

¹ e-posta:nyilmaz@selcuk.edu.tr, ² e-posta:ss@gazi.edu.tr, ³
e-posta:eyaldiz@selcuk.edu.tr, ⁴ e-posta:mbayrak@selcuk.edu.tr

Anahtar Sözcükler: Ultrasonik, PIC, Mesafe Ölçümü, PID Pozisyon Kontrol.

ÖZET

Bu çalışmada, PIC tabanlı ultrasonik bir mesafe ölçüm sisteminin PID denetleyici kullanılarak pozisyon kontrolü sunulmuştur. Ultrasonik dönüştürücülerin istenilen açılara yönlendirmesi, sesin yayılma süresinin hesabı ve PID kontrol işlemleri için PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları seri port yoluyla mikrodenetleyiciden PC'ye aktarılmakta ve PC den hareket yöntemi sisteme aktarılmaktadır. PC'de veri toplama ve grafiklerin elde edilmesi için Delphi programlama dili ile bir kullanıcı arayüzü yazılmıştır. Böylece sistem çok daha kullanışlı ve görsel hale getirilmiştir.

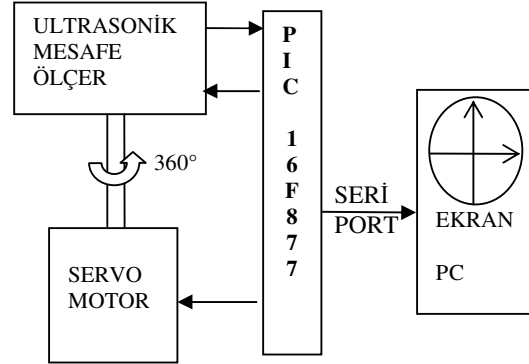
1. GİRİŞ

Mesafe ölçümü amacıyla ultrasonik dalgaların kullanılması fikri yarasaların konum bulma prensibinin keşfiyle olmuştur. Yayılan ultrasonik dalgaların bir engele çarparak geri dönme süresinin ölçülmesi, bu prensibin temelini oluşturur. Yansıtılan ses dalgaları yankı olarak adlandırılır. Eğer ortamdaki sesin hızı biliniyorsa, kaynaktan yayılan ses dalgasının engele çarpıp alıcıya dönme zamanı kolayca hesaplanır. Ultrasonik cihazlar, tahribatsız ölçümler arasında mesafe veya seviye ölçümü gerektiren pek çok endüstriyel alanda kullanıldığı gibi güvenlik alarm sistemleri ve robot sistemlerinde özellikle de mobile robotlarda kullanılmaktadır[1-9].

Ultrasonik radar da diyebileceğimiz bu sistemi klasik radardan ayrılan temel fark, RF veya mikrodalga frekansları kullanmak yerine insanın duymayacağı frekanslardaki (ultrasonik) ses dalgalarının kullanılmasıdır. Sistemin yapısında genelde fazla karmaşık olmayan ultrasonik dönüştürücülerini süren verici ve alıcı bulunur [1-11]. Belirli bir açının taranması isteniyorsa, ultrasonik dönüştürücülerini istenen açılara yönlendirecek bir hareket sistemi kullanılır. Bu hareket genelde bir motor ile sağlanır. Ses dalgasının gönderilip alınması, motoru döndürme, zamanı hesaplama, değer görüntüleme vb. gibi fonksiyonlar için

bir mikrodenetleyici kullanılır [7,9,12]. Bazı uygulamalarda görüntüleme LCD üzerinden yapılır.

Şekil 1'deki blok diyagramdan basitçe görüldüğü gibi, bu çalışmada gerçekleştirilen ölçüm sisteminde, ultrasonik mesafe ölçer, servo motor, LCD ve bunları kontrol eden PIC mikrodenetleyicisi ile görüntüleme ve kullanıcı arayüzü için bir PC kullanılmıştır[17].



Şekil-1. Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı.

Sonraki kısımlarda alıcı ve vericiden oluşan ultrasonik mesafe ölçer ile servo motorun PIC mikrodenetleyicisi ile kontrolü, PC için gerçekleştirilen seri iletişim ve kullanıcı arayüzüne ait Delphi programı hakkında yapısal açıklamalar ve çalışma prensipleri sunulmuştur[15].

2. ULTRASONİK MESAFE ÖLÇÜMÜ

Ultrasonik mesafe ölçümü, temel fizik kuralına dayanır. Eğer hız biliniyorsa belirli bir zamanda kat edilen yol,

$$d = v t \quad (1)$$

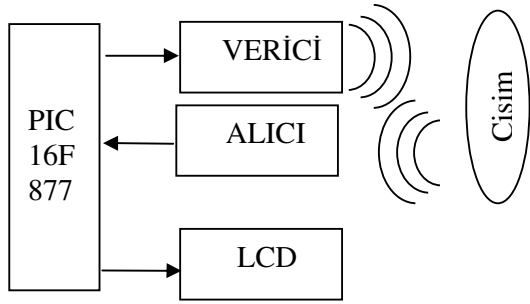
eşitliğinden hesaplanabilir. Burada d mesafeyi, v hızı, t ise zamanı ifade etmektedir. Yol hesabında ses dalgasının verici dönüştürücüsünden çıkışından alıcı

dönüştürücüsüne ulaşıncaya kadar geçen uçuş süresi t zamanını verir. Gidiş-dönüş yolu göz önüne alındığında, ölçüm biriminin engele olan mesafesini bulmak için Denklem (1)'deki t yerine t/2 alınan

$$d_1 = \frac{v t}{2} \quad (2)$$

eşitliği kullanılır. Burada d_1 engelin sisteme olan mesafesidir.

Gerçekleştirilen ultrasonik mesafe ölçüm birimi, Şekil 2'de görüldüğü gibi, ultrasonik dönüştürücülerden oluşan verici ve alıcı, sonuç görüntülemek için kullanılan LCD ile bunları sürmek ve zamanı hesaplamak için kullanılan PIC16F877 mikrodenetleyicisinden oluşmaktadır. Burada kullanılan ses dalgaları insanlar tarafından işitilemeyen ultrasonik frekanslardadır (>20kHz). 39.5 kHz'lik ultrasonik ses dalgasının üretimi için seramik ultrasonik dönüştürücüler kullanılmıştır. Ses dalgalarının yayıldığı ortam havadır ve sesin havadaki hızı oda şartlarında 345 m/s'dir. Bu birimle 65 cm'ye kadar olan menzil içerisindeki engellerin uzaklığı ölçülebilmektedir.



Şekil-2. Mesafe ölçerin blok diyagramı.

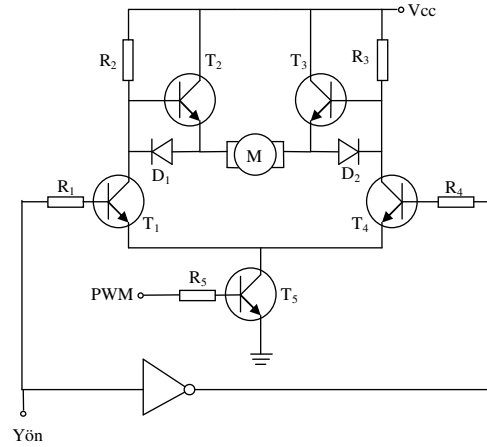
Mikrodenetleyiciye ait program yazmada Assembly diline göre daha anlaşılır olması ve birçok işlemi oldukça basitleştirmesinden dolayı PIC BASIC Pro kullanılması tercih edilmiştir[12]. PIC BASIC Pro'nun üstün olduğu işlemler matematiksel işlemler, LCD'ye veri aktarımı, I²C protokolü ile haberleşme, analog verilerin dijitale dönüştürülmesi, PWM modülünün kullanımı bu işlemler arasındadır.

Ultrasonik ses dalgasının elde edilmesinde, PIC içerisindeki PWM modülü ile kristal osilatörden 39.5 kHz'lik kare dalgalarla elde edilen 20 sayıklık burstler oluşturur ve ultrasonik vericiye gönderilir. Bu sırada PIC zamanlayıcı (Timer) modülü, sinyal gönderildikten sonra sayma işlemini başlatır. Engelden gelen yankı alıcıda bir işlemsel yükselteç ile kuvvetlendirilerek karşılaştırıcıya verilir. Karşılaştırıcıda sinyal, referans gerilimi V_{ref} ile karşılaştırılır. Yeterli seviyede yankı algılandığında alıcı, PIC'e zamanlayıcıyı durdurmak için bir sinyal gönderir. PIC, zamanlayıcı modülünü kullanarak elde ettiği süreyi ve Denklem (2)'yi kullanarak yankının olduğu mesafeyi hesaplar. Hesaplanan mesafe bilgisi PIC ile sürülen LCD ekranında sayısal değer olarak görüntülenir [13].

Elde edilen bu mesafe ölçüm sonuçları LCD ile görüntülenmesinin yanı sıra, seri port aracılığıyla PC'ye de aktarılmaktadır. PIC 16F877 ve PC arasındaki iletişim için, veri sinyallerinin seviyelerini girişlere uygun şekilde dönüştüren ve tampon görevi gören TTL/CMOS uyumlu RS-232 ara-birimi MAX232 entegre devresi ve kullanılmıştır.

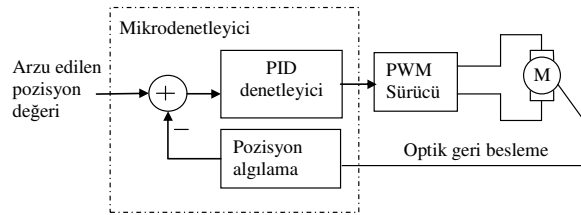
3. PID POZİSYON KONTROLÜ

Tasarlanan ultrasonik mesafe ölçüm sistemine radar niteliği; ölçüm sensörlerinin, redüktörlü optik geri beslemeli bir DC motor kullanılarak döndürülmesi neticesi kazandırılmıştır. Faulhaber firması tarafından üretilen bu motorun birbirinden 90 derece farz farklı sinyal üreten iki adet optik takometresi mevcuttur. Bu iki sinyal sayesinde motor yönü kolayca tespit edilebilmektedir. Çıkış milinin bir turunda 5500 darbe üreten bu takometreler pozisyon kontrolü için geri besleme bilgisini vermektedir. DC motor Şekil 3'de gösterilen PWM girişli bir H Köprü devresi kullanılarak sürülmektedir.



Şekil-3. PWM girişli H köprü devresi

Şekil 3'de verilen devrede PWM ve yön bilgisi sinyalleri, mesafe ölçmede de kullanılan PIC16F877 mikrodenetleyicisi tarafından yürütülen bir PID kontrol algoritması tarafından üretilmektedir[16]. PID kontrol algoritması ile gerçekleştirilen pozisyon kontrolünün blok şeması Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil-4. Pozisyon kontrol blok şeması

Optik geri beslemekten alınan yön ve dönüş miktarı bilgileri kullanarak sistemin açısal pozisyonu hesaplanmakta ve bu bilgi arzu edilen pozisyon değeri

ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma işlemi Eşitlik 3'te gösterildiği gibi hata değeri vermektedir.

$$e_x = X_a - X_{ölçülen} \quad (3)$$

Bu hata değeri, Eşitlik 4'de verilen PID kontrolör denkleminde kullanılarak hatayı minimum yapacak uygun PWM sinyalinin elde edilmesi sağlanmaktadır.

$$u_x = K_p e_x + K_i \int e_x dt + K_d \frac{de_x}{dt} \quad (4)$$

Eşitlik 4'de elde edilen sonucun mutlak değeri PWM sinyalinin değerini, işareti ise motor dönüş yönünü vermektedir. PIC'de üretilen PWM ve yön kontrol sinyalleri D portunun 4. ve 5. pinlerinden DC motora uygulanmıştır.

Arzu edilen giriş değerleri PC tarafından gönderilen senaryo bilgilerine göre mikrodenetleyici tarafından üretilmektedir. Senaryo bilgileri; başlangıç açısal pozisyon, maksimum dönüş açısı, dönme adım miktarı, dönme hızı ve ölçüm mod bilgisinden ibarettir. Bu veriler kullanılarak sonsuz bir çevrim içerisinde istenilen hareket değerleri üretilerek PID kontrolöre referans olarak girilmektedir.

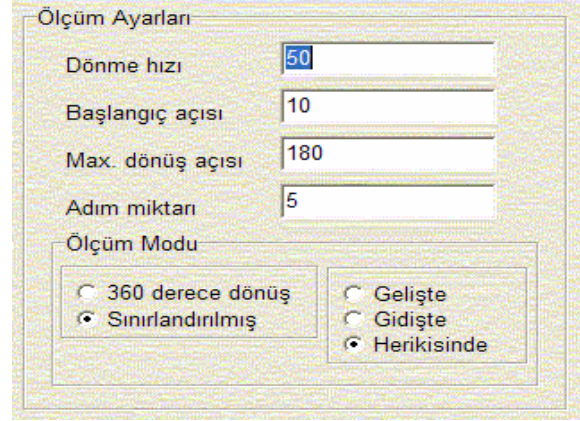
Kolay kontrol edilebilme ve yüksek performansa sahip olan servo motorlarının hızları geniş sınırlar içerisinde ayarlanabilmektedir. Gerçekleştirilen PIC 16F877 kontrollü motor sürme devresi basit, kullanışlı, hassas ve değişik uygulamalar için esnek yapıdadır.

4. PC YAZILIMI

PC için Delphi'de yazılan program ile sistemin kontrolü, ölçüm sonuçlarının görüntülenmesi ve kaydedilmesi sağlanır[15]. Şekil 5'de gösterilen ölçüm ayarları arayüzü ile ölçüm biçimi seçilmektedir. Bir ölçüm noktasından diğer bir ölçüm noktasına gidiş hızı olan *dönme hızı*, ölçüme başlanacak açısal pozisyon olan *başlangıç açısı*, başlangıçtan itibaren ilerlenecek açısal pozisyon olan *max. dönüş açısı*, ölçüm adımı olan *adım miktarı* ve ölçme tarzını seçmemizi sağlayan *ölçüm modu*, ölçüm ayarlarıdır. Seçilen ölçüm ayarlarına uygun ölçüm yapılabilmesi için *gönder* butonu ile ayarlar mikrodenetleyiciye aktarılır ve ölçüm başlatılır.

Şekil 6'te verilen seri port kontrol arayüzündeki *Port Ayarları* münüsünden port seçimi ve veri aktarım hızı ayarları yapılır. *Portu aç* butonu ile port aktif hale getirilir. Böylece mikro kontrolör ile PC arası veri transferi hazır hale gelmiş olur. *360° Ölçüm Yap* butonu ile PIC'e gönderilen bir işaret mikrodenetleyicinin sadece bir defa 360° lik ölçüm yapması sağlanır.

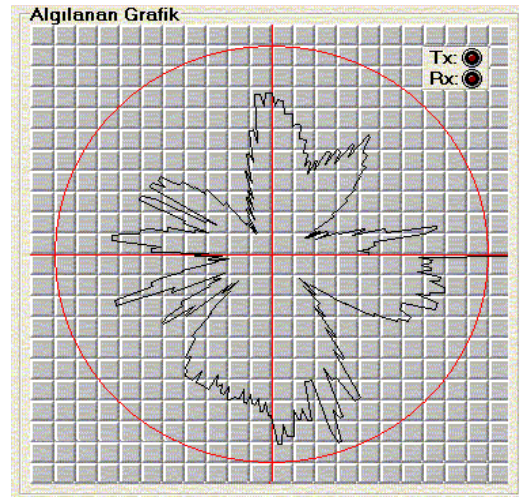
Şekil 7'da çeşitli engellerin bulunduğu bir ortama ait 360° ölçüm sonucu gösterilmiştir.



Şekil-5. Ölçüm ayar arayüzü



Şekil-6. Seri port kontrol arayüzü.



Şekil-7. Kullanıcı arayüzünde örnek bir uygulama görüntüsü.

4. SONUÇ

Sistemin amacı, bir ultrasonik mesafe ölçüm sistemi ile ortamın istenen açılarda taranması ve böylece belirli menzilete içerisinde bulunan engellerin (cisim) konumunun tespiti ve mesafelerinin açığa bağılı olarak çizdirilmesidir. Böylece ekrandaki grafikten hangi açıda ne kadar uzakta bir cisim olduğı kolayca görülebilmektedir. Bu amaç için ölçümü, doğru açısız pozisyonlarda yapmak gereklidir. Bu çalışmada sunulan PID kontrolör ile yapılan pozisyon kontrolü sistem için gerekli olan hassasiyeti sağlamış ve istenilen amaca ve ayara uygun tarama işlemlerini başarı ile gerçekleştirmiştir.

Hem mesafe ölçüm hem de pozisyon kontrolünün tek bir mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmesi maliyetin düşmesini ve elektronik donanımda sadeliğı sağlamıştır.

Sistemde ses dalgasının yayılmasını ve yayılan dalganın alınmasını sağlayan biri verici diğeri alıcı olmak üzere iki adet ultrasonik dönüştürücü kullanılmıştır. Sinyalin kuvvetli bir şekilde gönderilmesi ve alıcıda algılanması için yükselteçlerle kuvvetlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen PIC 16F877 mikrodenetleyicisi ile servo motor sürme devresinin basit, kullanışlı, hassas ve değışik uygulamalara çabucak uyarlanabilir yapıdadır. Motorun dönme açısına göre ultrasonik mesafe ölçerden elde edilen veriler iletim bakımından avantajlara sahip seri port ile bilgisayara aktarılmıştır. Bu veriler PC'de işlenip görsel bir grafik oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilen uygulamada, Delphi programlama dili kullanarak PIC 16F877'den gelen ölçüm bilgisi COM portu yoluyla PC'ye aktarılmıştır. Gerçekleştirilen ölçüm ve görüntüleme sistemde PC ve PIC mikrodenetleyicisi birlikte kullanılmıştır. Bu durum kontrol uygulamalarındaki devre maliyetlerini azaltmış, sistemi oldukça basitleştirmiş ve sonuçların grafik olarak görüntülenmesi sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Green R.E., Non-contact ultrasonic techniques, *Elsevier Ultrasonics*, 42, 2004, pp.9–16.
- [2] Ratner D., McKerrow P., Navigating an outdoor robot along continuous landmarks with ultrasonic sensing, *Elsevier Robotics & Auton. Systems*, 45, 2003, pp.73–82.
- [3] Hernandez M. A., et. all, Ultrasonic system for remote non-destructive testing using mobile telephony, *Elsevier NDT&E International*, 36, 2003, pp.85–92.
- [4] Sekmen A.S., Barshan B., Estimation of object location and radius of curvature using ultrasonic sonar, *Elsevier Applied Acoustics*, 62, 2001, pp.841-865.

- [5] Mihajlik P., Guttermuth M., Seres K., Tatai P., DSP-Based Ultrasonic Navigation Aid for the Blind, *IEEE Inst.& Measu.Tech. Conference*, Budapest, Hungary, 2001, pp.1535-1540.
- [6] Seki H., Koboyashi S., Kamiya Y., Hikizu M., Nomura H., Autonomous/Semi-autonomous Navigation System of a wheelchair by Active Ultrasonic Beacons, *Proc. of 2000 IEEE Intern. Conf. On Robotics & Automation*, San Fransisco, 2000, pp.1366-1371.
- [7] Webster D., A Pulsed Ultrasonic Distance Measurement System Based Upon Phase Digitizing, *IEEE Trans. on Instru. & Meas.* V.43, N.4 1994, pp.578-582.
- [8] Nonaka H., Da-te T., Ultrasonic Position Measurement and its Applications to Human Interface, *IEEE IMTC'94*, Hamamatsu, 1994.
- [9] Murugavel Raju, 2001, *Ultrasonic Distance Measurement With the MSP430*, Texas Instruments Application Report.
- [10] *Power Ruler Project with Ultrasonic*: <http://www.ee.ualberta.ca/~ee401/archive/fall2002/powerruler/finalreport.pdf>
- [11] *Range Meter Project with Ultrasonic*: <http://www.webee.com/Schematics/UltrasonicRangeFinderII/slaa136a.pdf>
- [12] Microchip Technology Inc., *PIC16F877 Data Sheet*, <http://www.microchip.com>
- [13] Tocci R.J., 1991, *Dijital Systems Principles and Applications*, Prentice Hall.
- [14] Feher K., *Servo Motor Control Digital Communications*, Prentice Hall.
- [15] Karagülle İ, Pala Z., 2002, *Borland Delphi 6*, Türkmen Kitabevi .
- [16] Yılmaz N. Web Tabanlı Mobil Robot Sistemin Tasarımı Gerçekleştirilmesi ve Uygulamaları, Selçuk Üniversitesi, Doktora Tezi, Konya, Türkiye, 2005.
- [17] Yıldız E., Yılmaz N., Sağlam H., PC Kullanıcı Arayüzü PIC-tabanlı Ultrasonik Mesafe Ölçüm Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, SİU2005, Kayseri, 16-18 Mayıs 2005.