

## **GEZGİN ROBOTLARDA ULTRASONİK MESAFE ALGILAYICILARLA ROBOT DAVRANIŞLARININ KONTROLÜ VE ÇEVRE HARİTALAMA**

Osman PARLAKTUNA<sup>1</sup>, Elif EROĞLU<sup>2</sup>

**ÖZET :** Bu çalışmada gezgin bir robot üzerinde bulunan ultrasonik algılayıcılardan ve kodlayıcıdan alınan verilerden faydalanılarak Bayes güncellemeli doluluk ızgaraları yöntemiyle robotun dolaştığı çevrenin haritası oluşturulmuştur. Harita tespit etmekteki amacımız robotun ve etrafındaki cisimlerin konumlarını bilmek istememizdir. Robotun çevresi ne kadar doğru modellenirse ileriye yönelik planlama davranışları da o kadar başarılı olacaktır. Bu amaçla, duvar bulma, duvar takibi, öndeki ve yandaki engellerden kaçınma, içbükey ve dışbükey köşe dönüşleri, tamponların kontrolü, tekerleğin sıkışma durumundaki kontrolü gibi robotun yapması gereken temel davranışlar geliştirilmiştir. Geliştirilen davranış modeli PIONEER robotlar için tasarlanmış MobilSim simülatörü ve P3-DX robotu ile test edilmiştir. Elde edilen uzaklık bilgilerinden robotun dolaştığı çevrenin haritası başarılı bir şekilde oluşturulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELEER :** Gezgin Robotlar, Haritalama, Ultrasonik Mesafe Algılayıcılar.

### **BEHAVIOR CONTROL AND ENVIRONMENT MAPPING WITH ULTRASONIC RANGE SENSORS IN MOBILE ROBOTS**

**ABSTRACT:** In this study, using the data obtained from ultrasonic range sensors and encoders on a mobile robot, map of the environment around the mobile robot is constructed by occupancy grid method with Bayesian update rule. Purpose of the map building is to know the location of the robot and objects around it. Modelling the environment of the robot accurately will result in more successful behavior planning for the robot. For this purpose, first fundamental behaviors of the robot, such as wall finding, wall following, avoiding front and side obstacles, turning convex and concave corners, controlling bumpers and controlling stalls, are developed. The developed behavior model is simulated with MobilSim simulator which is designed for PIONEER robots, and tested with P3-DX robot. Using the range data, map of the environment of the robot is constructed successfully.

**KEYWORDS:** Mobile Robots, Mapping, Ultrasonic Range Sensors.

<sup>1,2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

## ***I. GİRİŞ***

Gezgin robotların günlük hayatta kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu kullanımlara örnek olarak hastanelerde hastalara servis yapma, müzelerde rehberlik yapma verilebilir. Bu uygulamalarda hastane servis robotunun hastanın yerini bilmesi ve müze rehberi robotunun da hangi eserin önünde olduğunu algılaması gereklidir. Bu durumda robotun hafızasında hastanenin ya da müzenin bir haritasının bulunması ve bu harita ile robotun algılayıcılarından elde ettiği verileri kullanarak oluşturduğu anlık haritayı karşılaştırarak kendini konumlandırması gereklidir. Bu çalışmada robotun üzerinde bulunan ultrasonik algılayıcılar ve kodlayıcı kullanılarak robotun dolaştığı çevrenin haritası çıkarılmıştır.

Konum ve cisim algılama için en iyi çözümün, doğa tarafından getirildiği görülmektedir. Bu çözümün en iyi uygulayıcıları kuşkusuz yarasalardır. Yarasalar sadece karanlık ve aydınlığı algılayabilecek bir göz yapısına sahiptirler ve yaşamlarını gece avlanarak sürdürürler. Buna rağmen sahip oldukları karmaşık ultrasonik algılama sistemi sayesinde, karanlık bir odanın zeminindeki küçücük bir tırtılı bile algılar ve avlarlar [1].

Konum ve cisim algılama problemine, doğanın bulduğu çözüm kadar geçerli ve etkin olmasa da birçok çözüm üretilebilmiştir. Söz konusu soruna cevap olarak üretilen endüstriyel çözümler şu şekilde sıralanabilir:

1. Kızıl Ötesi (Optik) algılayıcılar
2. Ultrasonik algılayıcılar
3. Lazer algılayıcılar

Optik algılayıcılar, endüstriyel uygulamalar içerisinde özellikle cisim algılama için sıkça kullanılmaktadır. Bu tip algılayıcılar temel olarak kaynaktan gönderilen belirli bir frekansa sahip ışığın, yansıtıcı aynadan geri yansıtılarak alıcı tarafından algılanmasına dayanmaktadır. Algılayıcı özellikle cisim algılama yönünden etkin ve ucuz bir çözüm üretse de birçok dezavantaja sahiptir. Özellikle mesafe bu tip algılayıcılar için çok kritik bir parametre konumundadır. Mesafe arttıkça, kaynak tarafından yollanan ışının dağılımı ve geri yansyamaması algılayıcı için önemli bir problemdir. Bu sebepten dolayı hatalı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bunun dışında özellikle kirli ve/veya parçacıklı

ortamlarda bu tip algılayıcıların yansıtıcıları sıklıkla işlev yapamaz hale gelebilmektedir. Bu tip algılayıcılar ile yapılan mesafe algılama uygulamalarında gözlenen diğer bir olumsuz etki ise yansıtıcı yüzeyin rengidir. Özellikle koyu renkli nesnelere üzerinde yapılan çalışmalarda, cismin algılayıcı tarafından ya hiç algılanmadığı ya da çok geç algılandığı gözlenmiştir. Bunun sebebi ise koyu yüzeylerin ışığı emmeleri ve yansıtılmamalarıdır [2]. Lazerin endüstriyel uygulamalarından biri olan lazer algılayıcılar ise temel olarak optik algılayıcılar ile aynı çalışma mantığına sahiptirler. En büyük farkları ise çok daha yüksek bir dalga boyundaki bir ışık ile çalışıyor olmalarıdır. Mesafe ve nesne algılama sorunu açısından incelediğimizde ise lazer algılayıcıların çok etkin bir sonuç verdiği gözlenmektedir. Lazer algılayıcıların dezavantajları ise ilk olarak sadece belirli bir düzeydeki nesnelere algılamalarıdır, o düzeyin üstündeki veya altındaki cisimleri algılayamazlar. Ayrıca hala diğer algılayıcılara göre fiyat olarak oldukça pahalıdır. Bunlara ek olarak bazı cisimler (özellikle cam gibi) lazer algılayıcı tarafından algılanmaz [3].

Ultrasonik algılayıcılar ise ilk defa 1917 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Ses dalgaları yoluyla cisimlerin yerini saptayan bu aracın temel ilkeleri Fransız fizikçi Paul Langevin tarafından ortaya atılmıştır [4]. Ses dalgasının bir noktaya gönderilip geri gelme süresine bağlı olarak ölçülen mesafe değerinden faydalanılmaktadır. Bu sistemde birden fazla sefer paketler yayımlanır ve ekonun alındığı zaman ölçülür. Bu zamana uçuş zamanı da denir. Bu zamanın mesafelerin ölçümünde kullanılmasında ses hızının bildiğimiz değerinin değişmediği ya da çevresel sıcaklığa bağlı olarak ihmal edilebilir bir biçimde değiştiği varsayılır. Ultrasonik algılayıcılar lazer algılayıcılara göre daha ekonomiktir. Ultrasonik algılayıcılarla mesafe ölçümündeki ana dezavantaj nesnelere yüzeyinden gerçekleşen yansıma ile ilgili problemlerdir. Buna aynasal yansıma adı da verilir [5]. Yansıma yönü gelen ses dalgasının yüzeye yaptığı açıyla ve yüzeyin şekliyle ilgilidir. Geliş açısı ne kadar ufak olursa, sesin yansıma yapmadan yüzeyi sıyırması ihtimali o kadar yükselir ve bu şekilde hatalı bir mesafe ölçümü yapılır. Bu duruma aynasal denmesi sebebi, kaygan yüzeylerin, yansıtıcı özellikleri ile bu sorunun büyümesine yol açmasıdır. Daha kaba yüzeylerde ise düzensiz yansımalarından birinin geri dönme ihtimali daha yüksektir. Uzak mesafelerde ise ölçümlerin kesinliği büyük oranda düşecektir,

bunun sebebi yanlış ölçümlerin dönmesi ihtimalinin yüksek olmasıdır. Bu dezavantajlarına rağmen ultrasonik algılayıcılar ile ölçümler hareketli robot uygulamalarında sıklıkla uygulanmaktadır, bu uygulamalar arasında iç mekan ve dış mekan haritalarının çıkarılması da yer almaktadır [6]. Harita çıkarılmasının amacı robotun nerede olduğunu ve etrafındaki cisimlerin konumlarının bilinmek istenmesidir. Robotun çevresi doğru bir şekilde modellenir ve haritası çıkarılırsa birçok karmaşık görev daha hızlı ve güvenli bir şekilde robot tarafından gerçekleşir. Harita çıkarmada tek bir algılayıcı kullanılması yeterli olmayabilir. Farklı algılayıcılar ortam hakkında farklı bilgiler verir. Bu bilgilerin birlikte kullanılması hata oranını azaltacaktır. Örnek olarak kamera ve ultrasonik algılayıcıların birlikte kullanılması algılayıcıların zayıf noktalarını azaltacaktır. Örneğin ultrasonik algılayıcılar içbükey köşelerden yansıyan ışınlardan dolayı köşeyi daha uzakta algılayabilir. Işın köşenin bir kenarından yansıyarak diğer köşeye yönlenecek ve oradan da geri yansıyarak algılayıcıya dönecektir. Bu da algılanan mesafenin olması gerekenden fazla ölçülmesine sebep olur. ancak bu durum kameradan alınan bilgi ile birleştirilirse yanlış algılama ortadan kaldırılabilir. Harita çıkarmada karşılaşılan en önemli problemlerden biri de robotun konum ve yön bilgisini algılayıcılardan almasıdır. Eğer robot yanlış konum bilgileri alırsa harita güncellememiz de yanlış olacaktır. Robotun ilerleme mesafesi tekerleklere bağlı kodlayıcının dönme sayısı ile belirlenir. Tekerleklerde kayma ve açısal yönlenme olursa kodlayıcıdan yanlış bilgi alınacak ve robotun konum bilgisi de hatalı olacaktır. Ultrasonik mesafe algılayıcıları ile ortamın haritasının oluşturulması konusunda literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [7-23].

Bu çalışmanın amacı P3-DX gezgin robotu kullanılarak bilinmeyen ortamların çevre haritalarının çıkartılabilmesi ve yine bilinmeyen ortamlarda robotun çevrede bulunan engellere çarpmadan gezinebilmesidir. Bu çalışmada, çevre haritalama ve robot davranışlarının kontrolü işlemleri Mobilsim simülöründe ve P3-DX robotunda uygulanmış ve sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Duvar bulma, duvar takibi, öndeki ve yandaki engellerden kaçınma, içbükey ve dışbükey köşe dönüşleri, tamponların kontrolü, tekerleğin sıkışma durumundaki kontrol davranışları geliştirilmiştir. Ultrasonik algılayıcılardan ve kodlayıcıdan

alınan veriler doğrultusunda Bayes güncellemeli doluluk ızgaraları metodu kullanılarak çevre haritası oluşturulmuştur.

## ***II. DOLULUK IZGARALARI METODUNUN ULTRASONİK ALGILAYICI MODELİNE UYGULANMASI***

Ultrasonik algılayıcı modelinde ses dalgasının bir noktaya gönderilip geri gelme süresine bağlı olarak ölçülen mesafe değerinden faydalanılmaktadır. Bu modelde algılayıcının yaydığı ses dalgası yolunda bir nesnenin bulunup bulunmadığına, mesafe bilgilerine göre karar verilir.

Bu çalışmada kullanılan P3-DX robotunun ön tarafında 8 adet, arka tarafında da 8 adet olmak üzere toplam 16 ultrasonik algılayıcı vardır. Kullanılan algılayıcılar Polaroid 6500 serisidir ve 40kHz frekansında çalışmaktadır ve minimum 15 cm, maksimum 7m ölçüm yapılabilmektedir. Ancak kullanılan simülasyon programının özelliğinden dolayı maksimum ölçülebilen uzaklık 5m alınmıştır. Her algılayıcı kendi merkezine göre  $\pm 15$  derecelik bir bölgeyi taramaktadır.

### ***II.1. Ultrasonik Algılayıcı Bölgeleri***

Şekil 1' de ultrasonik algılayıcı modeli gösterilmektedir. Bu şekilde

$R \rightarrow$  Algılayıcının maksimum okuma uzaklığını,

$r \rightarrow$  Algılayıcının okuduğu mesafeyi,

$\beta \rightarrow$  Algılayıcının görme açısının yarısını,

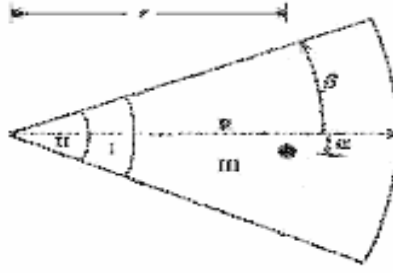
$\alpha \rightarrow$  Algılayıcının nesneye olan ışınmasının açısını göstermektedir.

Ultrasonik algılayıcı modelinde: 0 - 350mm arası II. bölgeyi, 350 - 500 mm arası I. bölgeyi, 500 - 5000 mm arası III. bölgeyi oluşturmaktadır.

I. Bölge: Bu bölgedeki bütün noktalarda algılayıcı tarafından gönderilen mesafe bilgisi ile geri gelen mesafe bilgisi eşittir. Bu bölgedeki ızgaralar büyük olasılıkla doludur.

II. Bölge: Bu bölgedeki ızgaralar büyük olasılıkla boştur. Bu bölge algılayıcı ile I. bölge arasında bulunur.

III. Bölge: Bu bölgedeki ızgaraların durumu bilinmemektedir.



**Şekil 1.** Ultrasonik Algılayıcı Modelin Bölgelere Ayrılması.

Gönderilen bir ses dalgası 1. bölgeye düşen bir uzaklık bilgisi veriyorsa algılayıcının görüş açısı yönünde bir engel vardır. Engel olma olasılığı algılayıcının yansımaya mesafesi ile ilgilidir.  $\alpha$  değeri sıfıra yaklaştıkça 1. bölgede engel bulunma olasılığı artar.

$r$  uzaklıktaki  $\alpha$  açısındaki bir nesnenin ultrasonik algılayıcı modeli olasılığı:

1. Bölge için;

$$P(dolu) = \frac{\left(\frac{R-r}{R}\right) + \left(\frac{\beta-\alpha}{\beta}\right)}{2} * \text{maksimumdolu} \quad (1)$$

$$P(boş) = 1 - P(dolu) \quad (2)$$

2. Bölge için;

$$P(dolu) = 1 - P(boş) \quad (3)$$

$$P(boş) = \frac{\left(\frac{R-r}{R}\right) + \left(\frac{\beta-\alpha}{\beta}\right)}{2} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanacaktır. Engel algılayıcıya yakınsa  $r$  değeri küçük olacağından

$\left(\frac{R-r}{R}\right)$  değeri büyüyecektir. Eğer engel algılayıcının bulunduğu hizaya

yakınsa  $\alpha$  değeri küçülecek  $\left(\frac{\beta-\alpha}{\beta}\right)$  değeri büyüyecektir. Maksimum dolu

olma katsayısı genelde 1.0 kabul edilmektedir.

3.Bölgede ise

$$P(dolu) = 1/2 \quad (5)$$

$$P(boş) = 1/2 \quad (6)$$

olarak kabul edilecektir.

## II.2. Bayes güncellemesi

Doluluk ızgaraları yönteminde üç tip güncelleme yapılabilmektedir [2]. Bunlar 1. Bayes güncellemesi 2. Dempster-Shafer güncellemesi 3. HİMM güncellemesi [24].

Bu çalışmada Bayes güncelleme metodu uygulanmıştır.

II.1. bölümünde verilen eşitlikler olasılık hipotezi ( $H'$ ) oluşturulmasını sağlar.

- $H' = \{dolu, boş\}$  veya  $H' = \{H, \neg H\}$  ve  $0 \leq P(H') \leq 1$

Temel olasılık özelliklerine göre;

- $P(\neg H) = 1 - P(H)$

$P(H)$  ve  $P(\neg H)$  şartsız olasılıklardır. Şartsız olasılıklar sadece ön bilgi sağlar, algılayıcı bilgileri bu olasılıklar kullanılarak birleştirilemez. Bayes kuralı bu probleme matematiksel bir çözüm sağlar. Bayes kuralı aşağıda açıklandığı gibi elde edilir.

$P(A)$ , A'nın gerçekleşme olasılığı olsun ve  $P(B)$  de B'nin gerçekleşme olasılığı olsun.  $P(A \cap B)$  ise A ve B'nin birlikte gerçekleşme olasılığıdır.  $P(A | B)$ , B'nin gerçekleştiği yerde A' nında gerçekleşme olasılığıdır. Bundan dolayı çarpım kuralından denklem (7) elde edilir.

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B | A) \quad (7)$$

Denklem (7)' deki benzer olarak,

$$P(B \cap A) = P(B) \times P(A | B) \quad (8)$$

Fakat bilindiği üzere,

$$P(A \cap B) = P(B \cap A) \quad (9)$$

Denklem (7) ve (8)' i kullanarak  $P(A | B)$  çözümü,

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) \times P(A)}{P(B)} \quad (10)$$

Olarak elde edilir. Genelleştirilirse,

$$\text{Sonraki olasılık} = (\text{koşullu olasılık} \times \text{önceki olasılık}) / \text{tüm olasılık} \quad (11)$$

Önceki olasılık  $P(H' | s)$ , Bölüm II.1'de anlatıldığı gibi hesaplanır. “s” algılayıcının okuduğu değeridir.  $P(H | s)$  s algılayıcı okuma değerinde H hipotezinin gerçekleşme olasılığıdır. Hipotezin bütün olasılıkları,  $P(s | H)P(H) + P(s | \neg H)P(\neg H)$ , ultrasonik algılayıcı modeline göre hesaplanır. Sonraki olasılık denklem (11)' den doluluk ızgarasının dolu olduğu durumda koşullu olasılığı verir. İdeal durumlarda bütün elemanların haritalama sürecinde sadece bir kere güncellenmesi yeterlidir, ancak bu tür bir olasılık nadiren oluşur. Bayes güncellemeli doluluk ızgaraları metodu ardışık bir yöntemdir ve bir noktanın dolu olup olmadığı olasılığı ultrasonik algılayıcının birden çok yansımasından güncellenebilir. Denklem (11) kullanılarak

$$P(H | s_1, s_2, \dots, s_n) = \frac{P(s_1, s_2, \dots, s_n | H)P(H)}{P(s_1, s_2, \dots, s_n | H)P(H) + P(s_1, s_2, \dots, s_n | \neg H)P(\neg H)} \quad (12)$$

elde edilir. Burada  $s_i$ ,  $i=1,2, \dots, n$  algılayıcı okumalarıdır. Okumaların birbirinden bağımsız olduğu düşünülürse,

$$P(s_1, s_2, \dots, s_n | H) = P(s_1 | H)P(s_2 | H) \dots P(s_n | H) \quad (13)$$

olarak hesaplanabilir.  $P(s_n | H)$ ; n sayıda incelemede hesaplamada işlem sayısının artmasından dolayı ekonomik olmayacaktır. Bu nedenle

$$P(A | B) \times P(B) = P(B | A) \times P(A) \quad (14)$$

kuralı denklem (12) ile birleştirilirse, kuralın tekrarlı versiyonu elde edilir.

$$P(H | s_n) = \frac{P(s_n | H)P(H | s_{n-1})}{P(s_n | H)P(H | s_{n-1}) + P(s_n | \neg H)P(\neg H | s_{n-1})} \quad (15)$$

Böylece her algılayıcı okumasının var olan olasılığının yeni koşullara göre güncellemesi için denklem (15) kullanılabilir.

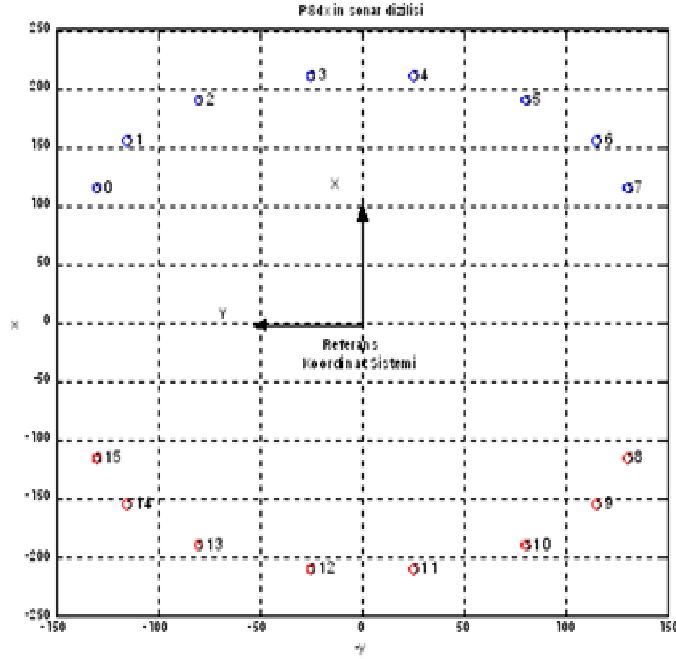


### III. ROBOT DAVRANIŞLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Robotun bulunduğu ortamın haritasını çıkarabilmesi için o ortamda güvenli bir şekilde dolaşabilmesi gereklidir. Bu nedenle gezgin bir robotun üzerindeki ultrasonik mesafe algılayıcılardan aldığı bilgileri kullanarak bir bölgede en yakın duvarı bularak duvarı takip etme ve engellerden kaçınma davranışları geliştirilmiştir. Geliştirilen davranış modeli PIONEER robotlar için tasarlanmış Mobilsim simülatörü [25] ve P3-DX robotu ile test edilmiştir. P3-DX robotunun üstten ultrasonik algılayıcıların konum ve yönlendirmeleri Şekil 2’de görülmektedir.

Geliştirilen davranışlar:

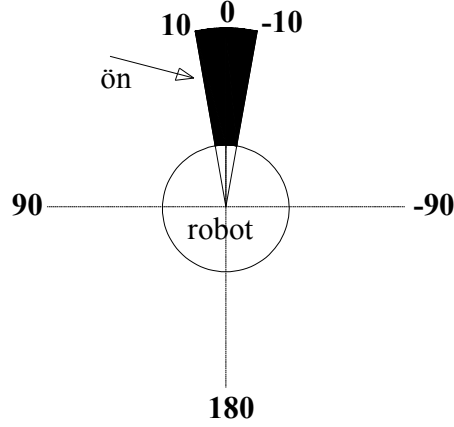
1. Duvar Bulma Davranışı
2. Duvara Paralel Olma Davranışı (duvar takibi)
3. Yandaki Engelden Kaçınma Davranışı
4. Öndeki Engelden Kaçınma (İçbükey dönüşleri) Davranışı
5. Dışbükey Köşe Dönüşleri
6. Tamponların Kontrolü
7. Tekerleğin Sıkışma Durumunda Kontrol Davranışıdır.



Şekil 2. P3-DX Robotta Ultrasonik Algılayıcı Konumlarının üstten görünümü.

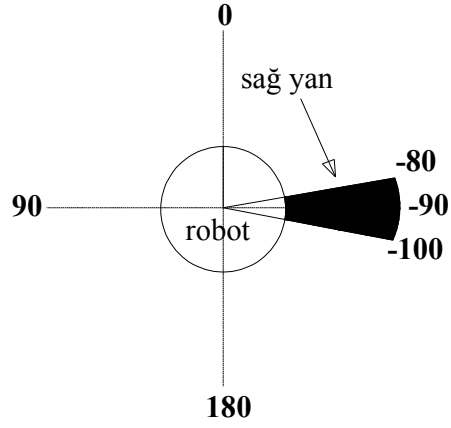
### III.1. Duvar Bulma Davranışı

Duvar takibi için öncelikle robotun kendisine en yakın duvarı bulması gerekmektedir. Robotun her zaman sağ tarafındaki duvarı takip edeceği varsayılmıştır. Bu nedenle robotun sağ tarafında 1000mm yakınında bir duvar olmaması robotun duvar bulma davranışına başlamasını tetikler. Robot saat yönüne ters yönde +5 derecelik adımlarla döndürülür ve robotun önündeki algılayıcı bilgileri okunur. Şekil 3'te robotun ön kısmındaki ultrasonik algılayıcıların  $-10^\circ$  ve  $+10^\circ$  lık aralıkta ölçtükleri mesafe bilgisi gösterilmektedir.



Şekil 3. P3-DX'in Ön Kısmındaki Ultrasonik Algılayıcıların Mesafe Ölçüm Aralıkları.

Robot bu şekilde  $360^\circ$  döner ve ön algılayıcılardan aldığı mesafe bilgilerini kaydeder. Daha sonra robot kaydedilen mesafe bilgilerinden en küçükünün yönünde hareket ettirilir. Bu yön robota en yakın duvarın bulunduğu yöndür. Robot duvara 400 mm yaklaşınca durdurulur ve ters saat yönünde dönmesi sağlanır. Şekil 4'te robotun sağ tarafındaki ultrasonik algılayıcıların  $-100^\circ$  ile  $-80^\circ$  aralığında okudukları mesafe bilgisi gösterilmektedir. Robot bu aralıkta en küçük mesafe bilgisi elde edilene kadar döndürülür. Böylece robot en küçük mesafede duvara paralel hale gelir.



Şekil 4. P3-DX'in -100° den -80° ye Kadar Polar Koordinatları.

### III.2. Duvara Paralel Olma Davranışı (Duvar Takibi)

Robotun sağ tarafındaki ultrasonik algılayıcılardan alınan mesafe bilgisi 350 mm ile 450 mm arasında ise robot duvara en uygun mesafede bulunmaktadır. Bu değerler arasında robotun sağ tarafında bulunan 7. ve 8. ultrasonik algılayıcıların mesafe bilgileri eşitlenmeye çalışılır. 7. ve 8. ultrasonik algılayıcı mesafe bilgisinin farkının ortalaması 5 mm den küçükse robot duvara paralel düz gitmektedir. 7. ultrasonik algılayıcının okuduğu mesafe değeri, 8. ultrasonik algılayıcının okuduğu değerden büyükse -1 derece ile ters saat yönünde; 7. ultrasonik algılayıcının okuduğu mesafe değeri, 8. ultrasonik algılayıcının okuduğu değerden küçükse +1 derece ile saat yönünde dönerek paralelleştirme sağlanır. Sağ mesafe 350 mm'nin altında ise robot duvara çok yaklaşmıştır. +1 derece döndürülerek dışarı doğru yönlendirilir. Sağ mesafe 450 mm'nin üstünde 1000 mm'nin altında ise uzaklaşma mesafesi ile doğru orantılı olarak robot içeri doğru yönlendirilir.

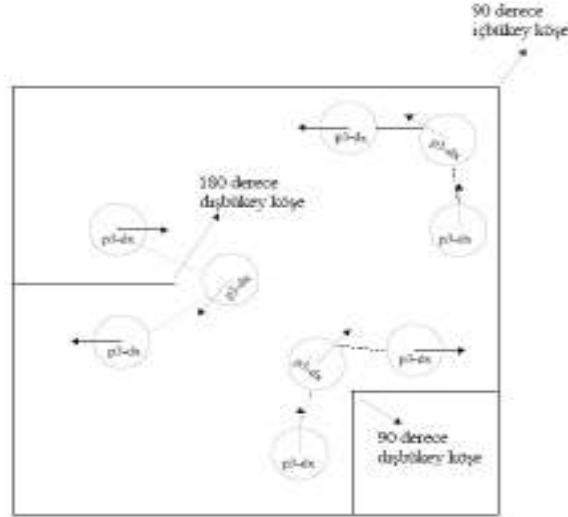
### III.3. Yandaki Engelden Kaçınma Davranışı

Sol veya sağ mesafe bilgisi 200 mm'nin altındaysa robot duvarlara veya herhangi bir nesneye çok yaklaşmıştır, bu nedenle yandaki engelden kaçınma

davranışı kullanılır. Sol mesafe 200 mm' den küçükse  $-5^\circ$  ile dönerek, sağ mesafe 200 mm'den küçükse  $+5^\circ$  ile dönerek robot engellerden uzaklaştırılır.

#### III.4. Öndeki Engelden Kaçınma (İçbükey Dönüşleri) Davranışı

Robot, 400 mm mesafede  $-30^\circ$  den  $+30^\circ$ ' ye kadar olan bölgede bulunan engellerden  $90^\circ$  ile dönerek uzaklaşır. Robot,  $90^\circ$  içbükey köşelerden de engelden kaçınma davranışı ile döner (Şekil 5).



Şekil 5. P3-DX' in İçbükey ve Dışbükey Köşe Dönüşleri.

#### III.5. Dışbükey Köşe Dönüşleri

Sağ duvar takibinin en önemli problemlerinden biri dışbükey köşelerdir. Çünkü dışbükey köşelerde robot duvarı kaybedebilir. Bu nedenle tekrar duvar takibinin sağlanabilmesi için ön mesafe ( $-30^\circ$  den  $+30^\circ$  ye polar koordinatlar) ve sağ mesafe ( $-100^\circ$  den  $0^\circ$  ye polar koordinatlar) 500 mm'den büyük ise ve arka sağ mesafe ( $-180^\circ$  den  $-90^\circ$  ye polar koordinatlar) 500 mm'den küçük ise dışbükey köşe olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda duvar bulma davranışı kullanılarak robotun  $180^\circ$  derece dönmesi ve duvarı bulması sağlanır.

### ***III.6. Tampon Kontrolü***

Ultrasonik algılayıcıların göremeyeceği mesafede yani 15 cm' den yakın mesafede olan cisimlere ya da zemin üzerinde ultrasonik algılayıcıların algılayamayacağı yükseklikteki cisimlere karşı önlem olarak robotun arka tarafında bulunan tamponlar kullanılmıştır. Robotun arka tarafında 5 adet tampon bulunmaktadır. Robot geri geri giderken bir cisme çarparsa tamponlar bir sinyal üretmekte ve robotu durdurmaktadır. Hangi tampon sinyal üretiyorsa robot, o tamponun tersi yönünde az bir miktar ileri gitmekte ve kendini cisimden uzaklaştırmaktadır.

### ***III.7. Tekerleğin Sıkışma Durumunda Kontrolü***

Ön tarafında olabilecek çarpmalar için tekerin bir süre sıkışmasında kullanılan "ArActionRecover" komutuyla robotun biraz geri gelerek uygun olan yöne yönelmesini sağlanmıştır.

## ***IV. HARİTA OLUŞTURMA***

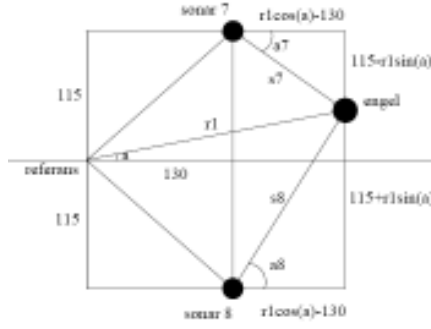
Robot yukarıda anlatılan davranışlara uygun olarak ortamda dolaşırken ultrasonik algılayıcı mesafe bilgileri kaydedilmiş ve bu bilgilerden harita oluşturulmuştur. Aşağıda haritanın oluşturulması detaylı şekilde anlatılmıştır.

### ***IV.1. Doluluk Izgara Metodu İle Olasılık Hesaplanması***

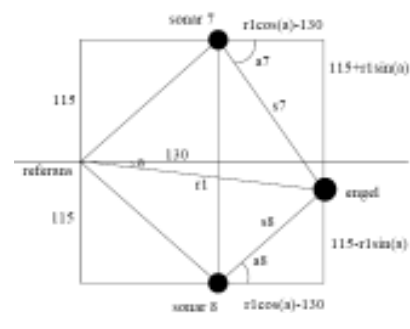
Uzaklığı  $r$  olan ve  $\alpha$  açısındaki bir nesnenin ultrasonik algılayıcı modeli olasılığını hesaplamak için önce algılayıcıların algılama aralığı bölgelere ayrılmış ve Bölüm II.1'de anlatılan parametreler kullanılarak olasılık hesaplaması yapılmıştır.

Simülatörde kullanılan değerler Polaroid 6500 serisi duyucuların özelliklerine uygun olarak  $R$  değeri 5000 mm ve  $\beta=15^\circ$  seçilmiştir. "Current reading polar" komutu ile elde edilen verilerden referans noktasına en yakın engelin uzaklığı  $r_1$  ve açısı ( $\alpha$ ) belirlenmiştir. Robot sağ duvar takibi davranışı gerçekleştirdiği için robotun sağ tarafında  $-75^\circ$  ile  $-105^\circ$  arasına gelen (7. ve 8.) ultrasonik algılayıcıların okuduğu mesafe değerleri kullanılmıştır. Bu bölgedeki ultrasonik

algılayıcıların engele olan uzaklığı ve ışının hangi açıyla yansıdığı aşağıdaki denklemlerden hesaplanır.



**Şekil 6.** Engelleme 7. Algılayıcıya Yakınsa Ultrasonik Algılayıcı Modeli



**Şekil 7.** Engelleme 8. Algılayıcıya Yakınsa Ultrasonik Algılayıcı Modeli

Engelleme 7. algılayıcıya yakınsa a7 değeri (16) eşitliğinden, a8 değeri denklem (17) den elde edilir (Şekil 6).

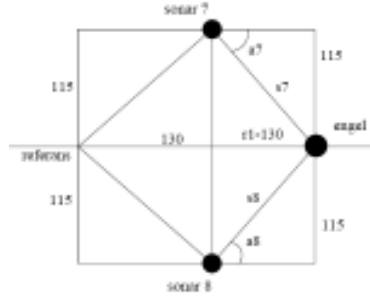
$$a7 = \tan^{-1} \left( \frac{115 - r1 \sin(a)}{r1 \cos(a) - 130} \right) \quad (16)$$

$$a8 = \tan^{-1} \left( \frac{115 + r1 \sin(a)}{r1 \cos(a) - 130} \right) \quad (17)$$

Engelleme 8. algılayıcıya yakınsa a7 değeri (18) eşitliğinden, a8 değeri denklem (19)' dan elde edilir (Şekil 7).

$$a7 = \tan^{-1} \left( \frac{115 + r1 \sin(a)}{r1 \cos(a) - 130} \right) \quad (18)$$

$$a8 = \tan^{-1} \left( \frac{115 - r1 \sin(a)}{r1 \cos(a) - 130} \right) \quad (19)$$



**Şekil 8.** Engül 7. ve 8. Algılayıcıya Eşit Mesafede ise Ultrasonik Algılayıcı Modeli.

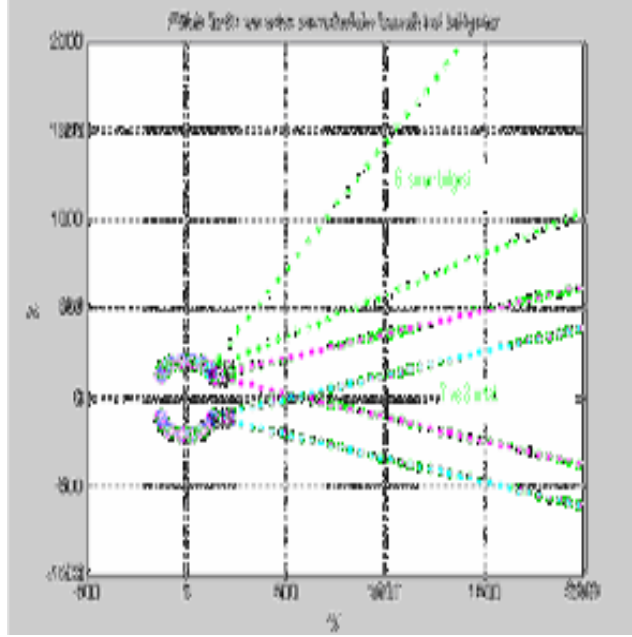
Engül 7. ve 8. algılayıcıya eşit mesafede ise  $a7$  değeri (20) eşitliğinden,  $a8$  değeri denklem (21)' den elde edilir (Şekil 8).

$$a7 = \tan^{-1}\left(\frac{115}{r1 - 130}\right) \quad (20)$$

$$a8 = \tan^{-1}\left(\frac{115}{r1 - 130}\right) \quad (21)$$

Üç durum içinde  $a7$  ve  $a8$  açıları hesaplandıktan sonra denklem (1)' de yerine konularak üç durum içinde olasılık fonksiyonu hesaplanmıştır. P olasılık fonksiyonumuz 0.5'ten büyükse engül olabileceği kabul edilmiştir. Doluluk ızgaraları olasılık modelini daha geliştirmek için Bayes teoremi ile güncelleme yapılmıştır.

Güncellemede amacımız eğer bir algılayıcının olasılığı hesaplanıp o noktada engül var kabul ediliyorsa ve aynı noktayı başka bir algılayıcı da görüyorsa onun olasılığını da hesaba katarak daha güvenli mesafe bilgisi elde etmektir. 6., 7. ve 8. algılayıcının  $\pm 15^\circ$  derecelik açıda gördükleri bölgeler Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Ultrasonik Algılayıcıların Okuma Bölgeleri.

Şekil 9'da görüldüğü gibi 7. ve 8. algılayıcılar belirli bir mesafeden sonra ikisi de ortak bir alandaki engelleri görebilmektedir. 6. algılayıcı 7. algılayıcıya yakın olmasına rağmen ortak bir görüş alanı yoktur. Bu nedenle Bayes güncelleme hesaplamalarında 7. ve 8. algılayıcılar birlikte kullanılmıştır. Denklem (22)'de doluluk ızgaraları olasılık fonksiyonu P hesaplanmaktadır.

$$P = \frac{P(7) \times P(8)}{P(7) \times P(8) + P'(7) \times P'(8)} \quad (22)$$

$P(7)$ , 7. algılayıcıdan dolu bilgisi alma olasılığı,  $P(8)$ , 8. algılayıcıdan dolu bilgisi alma olasılığı,  $P'(7)$ , 7. algılayıcıdan boş bilgisi alma olasılığı,  $P'(8)$ , 8. algılayıcıdan boş bilgisi alma olasılığıdır. Hesaplanan olasılık değerleri 0.5 ten küçükse o ızgaranın boş olduğu, engel olmadığı düşünülür. 0.5 ten büyükse engel olma olasılığı yüksektir ve dolu olduğu düşünülür.



#### ***IV.2. Verileri Dosyaya Yazdırma***

Harita çıkarma işleminde ultrasonik algılayıcılardan elde edilen ızgaraların dolu olma olasılıkları yanısıra robotun x-y pozisyon ve yönlenme bilgileri de kullanılmaktadır. Bu nedenle x pozisyon bilgisi, y pozisyon bilgisi, yönlenme bilgisi, 7. algılayıcı mesafe bilgisi, 8. algılayıcı mesafe bilgisi, algılayıcının engeli gördüğü açı bir .txt dosyasına yazılmıştır. Bu .txt dosyası daha sonra MATLAB programı ile işlenerek harita çıkarılmıştır. Veri çokluğundan kurtulmak için kayıtlar doluluk olasılığı 0.95'ten büyük olduğu anlarda kayıt edilmiştir. Bu değer denemeler sonucu yeterli bilgi elde edildiği görülerek seçilmiştir, başka olasılık değerleri de kullanılabilir.

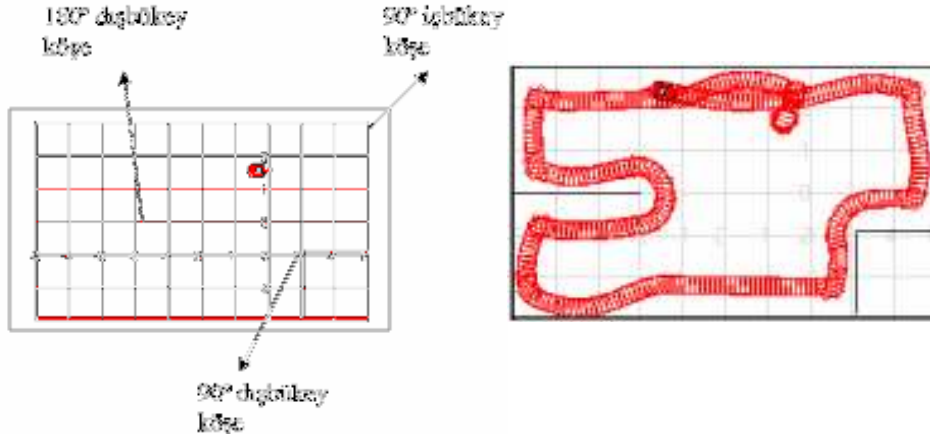
### ***V. ROBOT DAVRANIŞLARI UYGULAMA SONUÇLARI***

Önerilen yöntem PIONEER robotlar için geliştirilmiş Mobilsim simülöründe ve gerçek ortamda P3-DX robotu ile test edilmiştir.

#### ***V.1. Duvar Bulma ve Duvar Takibi Davranış Uygulamaları***

##### ***V.1.1. Simülör testleri***

İlk olarak robotun duvar bulma ve takip etme davranışları test edilmiştir. Bu amaçla içinde  $180^0$  ve  $90^0$  dışbükey köşeler olan bir ortam yaratılmıştır (Şekil 10). Bu durumda Robot öncelikle duvar bulma davranışını gerçekleştirecek, daha sonra duvar takibine geçecektir.  $180^0$  ve  $90^0$  dışbükey köşelerde duvarı kaybetmemesi için dışbükey köşe dönüşleri davranışını kullanacaktır. Simülasyonda yapılan uygulama sonucu duvar bulma, duvar takibi ve dışbükey köşe dönüşleri davranışları sonrası oluşan harita Şekil 11'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi robot en yakın duvarı bulmakta, duvar takibi davranışı ve dışbükey köşe dönüşleri davranışını başarıyla yerine getirerek ortamda dolaşmaktadır.



**Şekil 10.** Simülâtörde Oluşturulan Dünya. **Şekil 11.** Duvar Bulma, Duvar Takibi ve Dışbükey Köşe Dönüşleri Davranışlarının Test Edilmesi

### ***V.1.2. Gerçek Ortamda Yapılan Testler***

Geliştirilen robot davranışları simülâtör ortamında test edildikten sonra gerçek ortamda dinamik olarak da test edilmiştir. Laboratuarda karton kutulardan bir ortam oluşturulmuştur (Şekil 12). Gerçek ortamda da robot başarı ile davranışlarını tamamlamıştır.



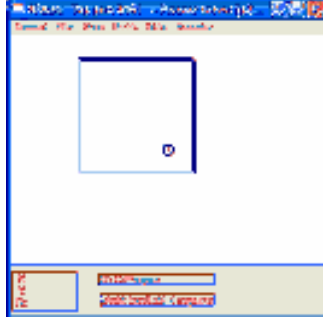
**Şekil 12.** Laboratuarda Oluşturulan Ortam.

### ***V.2. Harita Çıkarma Uygulamaları***

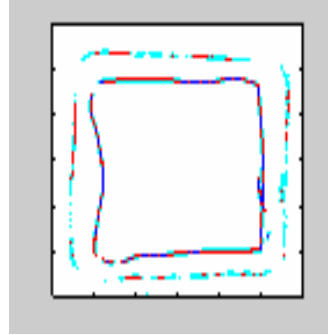
Ultrasonik mesafe algılayıcılar kullanılarak doluluk ızgaraları metodu ile robotun bulunduğu çevrenin haritası çıkarılmıştır. Harita çıkarma uygulamasında simülâtör testlerinde Mobilsim kullanılmıştır.

### V.2.1. Simülâtör Testleri

Şekil 13'te simülâtör ortamında robot için oluşturulan dünya görülmektedir. Robot duvar takibi davranışını gerçekleştirmiş ve Bayes güncellemeli doluluk ızgaraları metodu kullanılarak ortamın haritası oluşturulmuştur. Oluşan harita Şekil 14'te gösterilmektedir.



Şekil 13. Simülâtör Ortamında Oluşturulan Dünya.

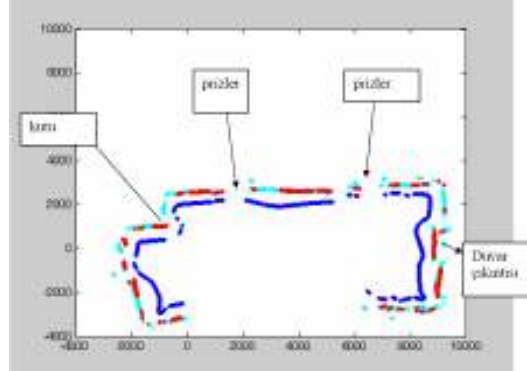


Şekil 14. Duvar Takibi Davranışı Sonunda Oluşturulan Harita.

İç kısımdaki çizgi kodlayıcıdan alınan bilgiye göre robotun gittiği yoldur. Dış kısımdaki çizgi, duvarları göstermektedir.

### V.2.2. Gerçek Ortamda Yapılan Testler

Harita oluşturma simülâtör ortamında test edildikten sonra gerçek ortamda dinamik olarak da test edilmiştir. Şekil 15'de laboratuvar ortamında oluşan harita gösterilmektedir.



Şekil 15. Laboratuvar Ortamında Oluşturulan Harita.

Gerek simülâtörde gerekse gerçek ortamda yapılan testler sonucu şekillerde bazı yerlerde kesiklikler gözlenmiştir. Bunun sebebi harita çıkarma işleminde dolu olma olasılık değeri 0.95'ten büyük ızgaraların çizdirilmesidir. Dolu olma koşulu daha düşük değerlerde seçilerek çizilen haritalarda bu problem ortadan kalkabilir ancak bu durumda harita oluşturulması daha uzun süre almaktadır.

## ***VI. SONUÇLAR VE ÖNERİLER***

Bu çalışmada çevre haritalama ve robot davranışlarının kontrolü işlemleri Mobilsim simülâtörü ve gerçek ortamda P3-DX robotunda başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

P3-DX robotu için hazırlanan yazılımda robot davranışlarının kontrolü ile robotun ilk amacı engellere çarpmadan ortamda gezinmesi olmuştur. Bu davranış ile birlikte duvar bulma ve duvarı kaybetmeden, duvara kendini paralel hale getirerek duvar takibi yapılması sağlanmıştır. Ultrasonik mesafe algılayıcıları kullanılarak Bayes güncellemeli doluluk ızgaraları metodu ile ortam haritasının çıkarılması sağlanmıştır.

Gerçek ortamda yapılan testlerde pusula bilgisinin sağlıklı alınamamasından dolayı ve harita çıkarma işlemi robotun kodlayıcıdan alınan bilgisine göre oluşturulduğundan haritada kaymalar meydana geldiği görülmüştür.

Harita çıkarma işleminin daha başarılı olabilmesi için yapay veya doğal işaretlerle, lazer mesafe algılayıcı veya kamera kullanılarak daha yüksek hassasiyette konumlandırma yapılması robotun konumunun daha doğru belirlenmesini sağlayacaktır. Birden çok algılayıcı bilgisinin bir arada kullanılarak harita çıkarmanın daha güvenli sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

## ***TEŞEKKÜR***

Bu çalışma, Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir ( Proje no: 200315030).

**KAYNAKLAR**

- [1] Berkay,A., Şeker, M. ve Esin,M., Ultrasonik sonar ile mesafe ve nesne algılama, II. Otomasyon Sempozyumu, İzmir Elektrik Mühendisleri Odası, Manisa, 2003.
- [2] Murphy, R., Introduction to AI Robotics, MIT Press, London, 2000.
- [3] Zunino,G., Simultaneous localization and mapping for navigation in realistic environments, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2002.
- [4] Graff, K. F., A History of Ultrasonics, Chapter 1 of Physical Acoustics, Vol. 15, Mason and Thurston, editors, Academic Pres, 1981.
- [5] Min, B.K., Cho, D.W., Lee, J.S. ve Park, Y. P., Sonar mapping of a mobile robot considering position uncertainty, Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol. 13, No.1, 41-49, 1997.
- [6][http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/algilayicilar/4\\_3\\_Ses\\_Temelli\\_Mesafe\\_Alg\\_.html](http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/algilayicilar/4_3_Ses_Temelli_Mesafe_Alg_.html)
- [7] Moravec, H. P., Elfes, A., High resolution maps from wide angle sonar, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 116-121, 1985.
- [8] Elfes, A., Sonar-based real-world mapping and navigation, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.3, No.3, 249-265, 1987.
- [9] Matthies, L., Elfes, A., Integration of sonar and stereo range data using a grid based representation, Proceedings of the 1988 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 2, 727-733, 1988.
- [10] Bozma, Ö., Kuc R., Building a sonar map in a specular environment using a single mobile sensor, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel., Vol. 13, No. 12, 1260-1269, 1991.
- [11] Thrun, S., Exploration and model building in mobile robot domains, In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Network, Seattle, Washington, USA, IEEE Neural Network Council, 175-180, 1993.
- [12] Konolige, K., Improved occupancy grid for map building, Autonomous Robots, 351-367, 1997.

- [13] Chong, S.K., Kleeman, L., Mobile-robot map building from an advanced sonar array and accurate odometry, *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 18, No. 1, 20-36, 1999.
- [14] Burgard W., Fox D., Jans H., Matenar C., Thrun S., Sonar-based mapping with mobile robots using EM, *Proc. 16th Int. Conf. On Machine Learning*, 67-76, 1999.
- [15] Thrun S., Burgard, W., Fox,D., A real-time algorithm for mobile robot mapping with applications to multi-robot and 3D mapping, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol.1, 321-328, 2000.
- [16] Achour,N., Toumi, R., Building an environment map using a sweeping system based on a single ultrasonic sensor, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings*, Vol. 8, 1329-1333, 2001.
- [17] Antonaros, G.I., Petrou, L.P., Real time map building by means of an ellipse spatial criterion and sensor-based localization for mobile robot, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.30, 331-358, 2001.
- [18] Chow, K.M., Rad, A.B. ve Ip, Y.L., Enhancement of probabilistic grid-based map for mobile robot applications, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.34, 155-174, 2002.
- [19] O'Sullivan S., An emprical evaluation of map building methodologies in mobile robotics using the feature prediction sonar noise filter and metric grid map benchmarkig suite, *Master of Science University of Limerick, Ireland*, 2003.
- [20] Carelli,R, Freire E.O., Corridor navigation and wall-following stable control for sonar based mobile robots, *Robotic and Autonomous System*, Vol. 45, 235-247, 2003.
- [21] Hwang, K.S., Chen,Y.J. ve Hong H.C., Autonomous exploring system based on ultrasonic sensory information, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.39, 307-331, 2004.
- [22] Ip, Y.L., Rad, A.B., Incorporation of feature tracking into simultaneous localization and map building via sonar data, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 39, 149-172, 2004.

- [23] Lee, S.J., Cho, D. W., Chung, W.K., Lim, J. H ve Kang, C.U., Feature-based map building using sparse sonar data, Intelligent Robots and Systems (IROS 2005), IEEE/RSJ International Conference, 1648-1652, 2005.
- [24] Borenstein, J., Koren, Y., Histogramic in – motion mapping for mobile robot obstacle avoidance, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol 7 , No.4, 535-539, 1991.
- [25] Vaughan, R., Stage: a multiple robot simulator, Technical report, Institute for Robotics and Intelligent Systems IRIS-00-393, School of Engineering, University of Southern California, 2000.

