

Özerk Robotlar İçin Bir Geniş Alan Taraması Planlama Yöntemi

Sanem SARIEL
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi
sariel@cs.itu.edu.tr

H. Levent AKIN
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Boğaziçi Üniversitesi
akin@boun.itu.edu.tr

ÖZET

Askeri ve sivil amaçlı ortam temizleme, mayın tarama ve arama-kurtarma etkinliklerinde ortaya çıkan alan tarama problemi üstünde çok sayıda çalışma yapılmakla birlikte tamamıyla özerk sistemlerin planlaması üzerine yapılan çalışma sayısı azdır. Bu çalışmada tamamıyla özerk olan etkin bir alan tarama planlama yöntemi geliştirilmiştir. Bu planlama stratejisi uygulama alanına göre değişen görevlere sahip, kendi başına ortamda dolaşarak ilgili görevini yerine getiren robot sistemleri ve bu robotların hava yoluyla uygun yerlere dağıtımını sağlayan bir genel dağıtım birimi için tasarlanmıştır. Özellikle geniş alan taramasını sağlayacak olan bu yöntemin mayın tarama gibi insanlar için oldukça tehlikeli olan uygulamalarda kullanımı ile bu tür uygulamalarda zararı sadece maddi boyutlara indirgemek mümkün olacaktır.

1. GİRİŞ

Askeri ve sivil amaçlı ortam temizleme, mayın tarama [4] ve arama kurtarma [2] etkinliklerinde en önemli konu akıllı bir planlama stratejisinin gerçekleşmesi ve ortam koşullarına göre kayıpları en aza indirecek şekilde gerekli insan-makine iletişiminin etkinlikle kurulmasıdır. Deprem enkaz ortamları, insanlar için tehlikeli hava veya gaz koşullarının olduğu kapalı ortamlar, insan erişiminin oldukça güç olduğu ortamlar ve mayınlarla kaplı alanlar gibi bir çok ortam, çalışan personel veya diğer canlılar için büyük tehlike oluşturmaktadır. Bir başka problem de bu ortamlarda güvenli şekilde çalışabilecek yetmiş ve eğitilmiş personelin sayısının az olmasıdır. Bu durumda görevlerin yapılabilmesi için özel makine ve robotlara ihtiyaç duyulmaktadır.

İnsanlar için tehlikeli ortamlarda kullanılacak makineler yarı özerk veya özerk olabilmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar genellikle yarı özerk sistemler üzerinde olmakla birlikte özerk olarak planlama yapan makineler üzerindeki çalışmalar oldukça az sayıdadır. Ortam zorlukları, geliştirilen robotların yarı özerk olmasını gerektirmesine rağmen, bir çok ortam için tümüyle özerk sistemler geliştirilmesi ve robotların belirlenen sınırlar dahilinde dışarıya bağımlı olmadan işini yapabilmesine olanak tanınması gerekmektedir. Böylelikle uzun süreler aralık vermeden işlem yapabilen robotlar görevlerini tasarım sınırları dahilinde yerine getirmektedirler.

2. PLANLAMA MODÜL TASARIMI

Arama yapmadan sadece tarama yapmayı gerektiren uygulamalarda (örn. boyama veya temizleme uygulamaları) tarama standart yöntemler kullanılarak yapılabilir. Taramanın arama amacıyla yapıldığı uygulamalarda ise tarama ve arama yönteminin birbiri ile koordineli şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada önerilen hava yoluyla bir ortama bırakılan robotların planlama stratejileri üzerine bütünlük yapı, hem tarama hem de arama yöntemlerini etkin bir şekilde birleştirmeyi amaçlamaktadır. Tek bir robot için planlama stratejisi bu çalışmada önerildiği gibi yapılmaktadır. Çalışmanın daha etkin olabilmesi için robotların çalışma alanlarına taşınması ve gerektiğinde ulaşılamayan bölgelere tekrar robot ikmali gerekmektedir.

2.1 Gereksinimler

Aramaya yönelik tarama yapmak üzere kullanılacak robotların üstünde çalışacak Planlama ve Davranış Modülünün (PDM) olası en kısa sürede aranan hedefi bulma ve bunun için de uygun bir tarama yöntemi uygulaması gerekmektedir. Tarama yaparken ikincil amaçlar engel sakınımı, tehlikeli ve sağlam olmayan yapılarda yeni tehlikelere sebep olmama, arama esnasında gereksiz tekrar ve hatalardan arınma, aranan hedeflere doğru yönlenebilme olarak sıralanabilir. Bu amaçları gerçeklemek üzere alt planda bunlara karşılık gelen birim davranışlar da tanımlanmalıdır.

PDM'in robot ve ortamın durumunu, kısıtlamaları ve amaçları değerlendirerek uygun bir plan üretmesi gerekmektedir. Aynı zamanda üretilen planlar robotun dinamik ortamın gerektirdiği ölçüde değişimlere uyum sağlayabileceği ve anlamsız davranışları engelleyecek şekilde olmalıdır.

Ortamda dinamik ve statik nesnelere, diğer robotlar ve insanlar olabilir. Her zaman için ortam haritası önceden bilinemeyeceğinden PDM tasarımında ortam yapısı ve haritası bir ön bilgi olarak verilmek durumunda değildir. Bu konuda bir ön bilgi varsa bu bilgi PDM tarafından kullanılabilir. Tasarımın genel olabilmesi için bu bilginin olmaması durumunda da etkin çalışma sağlanmalıdır.

2.2 Tasarım

Önerilen PDM, InteRRap [3] mimarisinde olduğu gibi üç katmanlı bir yapıya sahiptir. Tepkisel Katman, doğrudan algı modülleri ile bağlantı kurmakta ve gereken temel davranışı üretmektedir. Planlama katmanı ise robot için en iyi planı üretmektedir. Bu katmanda davranışlarda gereksiz tekrarları önleme, arama uzayında hedeflerin belirlenmesi ve hata kotarma yürütülmektedir. İletişim katmanı PDM'in dış ortam ile haberleşme modülüdür ve robotlar arası mesaj alış verişinin etkin şekilde gerçekleşmesini sağlar. Mevcut mimaride robotlar arası iletişim karatahta (blackboard) tipinde olmaktadır. Robotlar arası iletilen bilgi sadece hedef konum bilgisi ve mesaj tipi ile ilgili bir bayrak bilgisinden ibaret olduğundan bant genişliği ihtiyacı oldukça düşüktür.

PDM'in ürettiği planlar robot davranışlarına dönüştürülür. Robot davranışlarındaki basit hareketler robotun motor ara yüz birimine gönderilir.

Tasarımda ortam hakkındaki varsayımlar:

- Bir robota atanan alan, birim hücrelerden oluşan bir ızgara yapısında modellenmektedir. Bu ızgaranın yapısı engellerin ortam içindeki dağılımı ile farklı hale dönüşebilir. Izgara yapısında birim hücre boyutlarına göre ızgara yoğunluk hassasiyeti değişmektedir.
- Robot içinde bulunduğu hücrenin sekiz komşu hücresine hareket edebilir.
- Köşe hücreler, komşu hücreleri engel içeriyorsa geçilemez.
- Engeller hem çukurlar hem de geçilemeyecek büyük nesnelere anlamına gelmektedir.
- Robot tarafından etrafı çevrili bir alanın robot tarafından geçilemeyeceği düşünülmektedir. Bu durumda robot ile iletişim halinde bulunan bir kurye, etrafı çevrili alan içine aynı yöntemle çalışan bir robot yerleştirmeye karar verebilir.

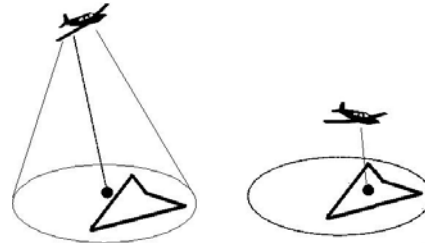
Robotlar için tek varsayım aküyle beslenmesi dolayısıyla bir kaç saat çalışabilmesi, hareketli olması ve basit algılayıcılardan oluşmasıdır.

Bu çalışmada PDM tasarımında hem arama hem de tarama için etkin algoritmalar önerilmektedir. Robot yaşam süresi boyunca arama yapmak üzere tarama işlemini yürütür. Ne zaman ki hedefe yaklaştığını hisseder veya hedef konumu hakkında bilgi alırsa bu bilgiyi kullanır. Aksi durumda tarama yöntemini uygulamaya devam eder. Tarama yönteminde yakın zamanda en az taranmış bölgelerin taranması sağlanarak ortamda robotun mümkün olan en kısa sürede hedeflerini bulması sağlanmış olur. Bu tarama işi tüm ortam taranana dek veya robotun kendisini kurtaramayacağı bir duruma düşene dek devam eder.

PDM tasarımında hata olması durumunda planın bozulup yeniden planlama yapılması ve büyük plan ağaçları üzerinde geri sarım ile hatanın analizinin yapılması yeniden karar alınması yerine planlar için tahmini plan süresi belirlenir. Belirlenen süre dahilinde robot işini gerçekleştirmezse hedef değiştirir. Gereksiz tekrarları

önlemek üzere belli sayıda geçmiş davranış bir vektörde tutulur. Robotun sürekli tekrar yaptığı anlaşılırsa hedef değiştirme stratejisi uygulanır. Bu durumda her bir adımda mevcut duruma göre plan yapılmasını öngören basit bir yapı ile robotun istenen davranışları sergilemesi gerçekleşmiş olur. Zaman önemli olduğunda basit planlar yeğlenir. Robotun hiçbir bilgiye sahip olmaması durumunda daha geniş alan tarama planı yürütülür.

Tüm tasarım ölçütleri göz önüne alınarak önerilen planlama modüllerine sahip robotlar ve uygulama ortamına bırakılmaları ve engelli, ulaşılamayacak bölgelerin belirlendikten sonra başka bir robotun çevrili alan içine bırakılmasına ilişkin grafiksel gösterim Şekil-1 de görülmektedir. Bu şekilde daire şeklinde gösterilen robot önerilen planlama stratejisini yürütür, havadan ulaştırma birimi ise robotların uygun yerlere atılmasını sağlamaktadır. Engellerle çevrili olduğu algılanan robotlar ilgili harita bilgisini ulaştırma birimine yollar ve ulaştırma birimi bu alanlara yeni robotlar yollar. Robot atıldığı bölge içinde ulaşabildiği yere kadar gider ve hedefleri bulmaya çalışır.



Şekil 1. Robotun açık ve engelle çevrili alanlara atılması

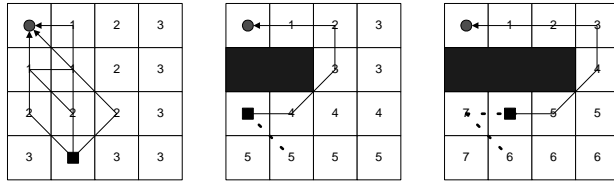
2.3 Hedefe Ulaşmak için Planlama Yöntemi

Robotun hedef bulma stratejisinde hedefin algılandığı noktaya en kısa sürede ulaşılması amacı güdülmektedir. Hedefe doğru kısa yolun belirlenmesi esnasında yol üzerindeki bilinen engeller göz önüne alınır. Hedefe ulaşırken izlenen yolda bilinmeyen engellere karşı sakınım da gerçekleşir. Aynı zamanda bu engeller bilinen engeller olarak kayıt edilir. Dinamik ortamlarda dinamik engel veya engellerin başka birimler tarafından yok edilmesi durumlarına karşı daha önceden engel olduğu bilinen bir noktanın durumu değiştiyse bu değişiklik de ortam bilgisinde güncellenir. Robotun mevcut algılayıcı durumuna göre bazı sistemlerde engelin canlı veya cansız olduğu, dinamik veya statik olduğu algılanabilirken bazı sistemlerde basit algılayıcılar kullanıldığından bu algılama yapılamaz. Önerilen PDM modeli tüm robot tipleri için genel yapı oluşturduğundan her tip hareketli robot için gerekli planlama stratejisi eklenmiştir.

Hedefe doğru ilerlerken daha yakın bir hedef algılanabilir veya merkezden daha yakın bir hedef bilgisi yollanabilir. Bu durumda yeni hedef bilgisi oluşturulur. Eski hedef bilgileri merkeze yollanır ve gerekirse daha sonra kullanılmak üzere saklanır. Bu şekilde her adımda yapılan hedef bilgisi analizi robotun daha akıllı bir şekilde hedefleri bulmasını sağlar.

Eğer bilinen veya algılanan bir hedef bilgisi yoksa ve hedeflerin bittiği anlaşılırsa merkeze görev tamam mesajı yollanır. Robot kendini kurtaramadığı bir durum içinde bulursa merkeze yardım mesajı yollanır.

Robotun hedefe doğru akıllı bir yörünge izleyebilmesi için o ana dek robotun elde ettiği bilgiler kullanılmalıdır. Bu amaçla Boş Alan Varsayımı (Free Space Assumption) [1] yöntemi uygulanıp bilinen engeller de hesaba katılarak hedefe en kısa yol oluşturulur. Bu yöntemde robot hareket ettikçe ortam hücrelerinden hedefe olan uzaklıklar dinamik bir şekilde güncellenmekte ve elde edilen yeni bilgiler ışığında hedefe olan en kısa yol hesaplanmaktadır. Bir güncellenme stratejisi Şekil-2’de görülmektedir.



Şekil 2. Robot haritasının ve yolunun güncellenmesi

Bu şekilde robot kare ile işaretlenmiş hücrede, hedef ise yuvarlak işaretli hücrede bulunmaktadır. Boş hücreler içindeki sayılar hedefe tahmini uzaklığı hücre sayısı cinsinden göstermektedir. Hücreler üzerindeki olası yollar kesiksiz çizgi ile robotun rotası kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Robotun engel algılama uzaklığının bir hücre olduğu durumda en başta robot ortamda tüm engellerden habersiz olarak en kısa yolu belirler. Daha sonra rotasında karşılaştığı engellere göre tahmini uzaklık bilgisini güncellerken en uygun yolu tercih eder.

EnYakınHedefPlanı {

Tüm hedefler bitene dek

EnYakınHedefiSeç;

YolBilgisiniGüncelle;

Hedefe doğru bir yol tanımlanamıyorsa

Hedefi ulaşılamaz olarak işaretle;

Merkeze hedefin konumunu ve ulaşılamadığını bildir;

Aksi durumda

HedefiçinSüreBelirle;

EnİyidönüşüSeç;

Hareket et;

Eğer plan yürütmezse

HataKotar;

}

YolBilgisiniGüncelle {

Hedeften tüm komşularına doğru

Hücresinin uzaklığını başta ∞ olarak ata;

En küçük uzaklığa sahip komşu hücreyi seç, kendi değerini ata;

}

HataKotar {

Yolda engeller varsa

Ortam bilgisini güncelle;

YolBilgisiniGüncelle;

Hedefe en yakın hücreye doğru dön;

Eğer aynı uzaklığa sahip iki hücre varsa

En az ziyaret edilene seç;

Eğer kurtarılamayacak bir durum oluştuysa

Yardım mesajı gönder ve bekleme durumuna geç;

}

Şekil 3. Hedefe ulaşma stratejisine ilişkin algoritma

Hedef içerebilecek olası noktalara ilişkin bilgi tutulur. Bu bilgi algılar yoluyla oluşturulabilir veya

dışarıdan gelebilir. Hedefe ulaşıldığında ilgili olasılık değeri sıfırlanır ve bu hücre ulaşılan hedefler listesine eklenir. Bu hedefe ilişkin bir “ulaşıldı” mesajı merkeze yollanır. Bu türden bir ulaşıldı bilgisi gelen bir robotun hedefi mesajdaki hedef ile aynı ise bu hedef için ulaşılmış gibi işlem uygulanır ve yeni bir hedef seçilir. Hedefe ulaşma stratejisine ilişkin algoritma Şekil-3’de verilmiştir.

2.4 Arama için Tarama Yöntemi

Tarama stratejisi herhangi bir hedef bilgisine sahip olunmadığı durumda uygulanır. Bu stratejide ortamın mümkün olduğunca hedeflere ulaşmak üzere taranması gerekmektedir. Etkin bir tarama yöntemi için robotun daha önceden kullanmadığı yolları seçerek tarama yapması sağlanır. Bu amaçla hücreler için seçim önceliği değeri tanımlanır. Bu değer ne kadar yüksekse ilgili hücrenin hedef olarak seçilme durumu daha fazladır. Hücreler için tanımlanmış olan bu değer robotun her bir hareketinde güncellenir. Seçim önceliğinin güncellenmesi Eşitlik 1 deki formüle göre sağlanır.

$$s_i^{k+1} = \begin{cases} 0 & \text{algı alanı içinde} \\ s_i^k + uz(i(x, y, z), R(x, y, z)) + 10 * k_z / k_t & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (1)$$

Bu eşitlikteki s_i^{k+1} i . hücrenin $k+1$ yürütme adımındaki seçim önceliği değeridir. $uz()$ fonksiyonu iki nokta arasındaki Euclid uzaklığını hesaplar. $i(x, y, z)$ hücrenin konumunu $R(x, y, z)$ de robotun konumunu belirtir. k_t hücrenin ziyaret edilmemiş komşu hücre sayısını, k_z ise toplam hücre sayısını belirtir. Ortamın durumuna göre k_t hücreler için farklı olabilmektedir. Seçim önceliği değeri denklem 1’e göre güncellenir. Eğer hücre, robotun algı alanı içindeyse bu değer sıfırlanır.

EnAzZiyaretEdilenHücrePlanı {

En yüksek seçim önceliği değeri olan hücreyi seç;

hedefe ulaşılmadığı sürece

Ortam bilgisini güncelle;

Eğer bir hedefalgılanırsa

döngüden çık;

YolBilgisiniGüncelle;

AltAlanHücresiniSeç;

Hareket et;

Seçim öncelik bilgisini güncelle;

Eğer plan başarılı olmazsa

TaramaHatalarınıKotar;

}

TaramaHatalarınıKotar {

Yolda engeller varsa

Ortam bilgisini güncelle;

YolBilgisiniGüncelle;

Eğer kurtarılamayacak bir durum oluştuysa

Yardım mesajı gönder ve bekleme durumuna geç;

Eğer hedef ulaşılamayacak durumdaysa

Bu hedefi ulaşamayacak olarak ata.

Merkeze bilgi yolla

Döngüden çık

}

Şekil 4. Tarama stratejisine ilişkin algoritma

Tarama yönteminde yeni hedef seçileceği zaman seçim önceliği değeri en yüksek olan hücre göz önüne alınır. Hedef belirlendikten sonra hedefe giden yol mümkün olduğunca ziyaret edilmemiş hücrelerden

geçilerek yapılır. Bu arada kısa yoldan da çok fazla sapılmaması sağlanır. Bu aşamada bir hücrenin hedef hücreye doğru çizilen doğruya en yakın üç komşu hücresi bu hücrenin alt alanı olarak adlandırılır. Bir sonraki ziyaret edilecek nokta seçimi bu alt alandaki ziyaret edilmemiş komşu hücrelerden biri seçilerek yapılır. Eğer bu alanda ziyaret edilmemiş bir komşu hücre yoksa alt alan dışındaki komşu hücrelere bakılır. Bu hücreler arasındaki ziyaret edilmemiş bir hücre seçilir. Bu seçim hedefe ulaşma adımını artırsa da ziyaret edilmemiş hücrelerden geçerek hedefe ulaşma imkanı sağladığından arama için etkin tarama yapılmasını sağlar. Eğer hücrenin tüm komşuları ziyaret edilmişse, bir sonraki hücre olarak en az ziyaret edilmiş alt alan komşu hücresi seçilir. Tarama esnasında herhangi bir hedef bilgisi algılandığında hedefe ulaşmak için planlama yöntemi uygulanmaya başlanır. Şekil 4'de arama için tarama yöntemi algoritması verilmektedir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

Önerilen modelde arama ve tarama yöntemlerinin etkin bir şekilde yapıldığını göstermek üzere C++ programlama dili ile OpenGL grafik kütüphanesi kullanılarak bir benzetim ortamı oluşturulmuş ve sonuçlar bu ortam üzerinde alınmıştır. Benzetim ortamı rasgele yerleştirilen statik ve dinamik nesnelere ile hedeflerden oluşmaktadır. Robotun algı alanı belirlenmiş ve bu algı alanı içinde bulunan hedeflerin algılanabilmesi sağlanmıştır.

Önerilen yöntemin başarımını ölçmek üzere literatürde hem arama hem de tarama yöntemlerini birleştiren bir sistemin olmamasından dolayı karşılaştırmalar 'greedy mapping' [1] yöntemi olarak bilinen başarılı bir tarama yöntemi ile önerilen hedefe ulaşma planlama yöntemi birleştirilerek yapılmıştır. Bu tarama yönteminde her bir adımda en yakın taranamamış hücre seçilerek ilerlenir.

Deneyler rasgele hedef ve engellerle oluşturulan ızgara yapısındaki benzetim ortamında yapılmıştır. Tarama süresi ve hedeflerin tümüne ulaşmak için geçen süre (amaca ulaşma süresi) deneylerde karşılaştırılan iki ölçüdür. Sonuçlar ortam bilgileri değiştirildikçe değişmektedir. Tablo-1'de farklı engel yoğunluklu ortamlar için elde edilmiş sonuçlar (ortalama ve standart sapma) verilmektedir.

Tablo 1. Farklı engel yoğunluklu ortamlar için sonuçlar.

Gerçek engel yoğunluğu		Algılanan engel yoğunluğu		Tarama süresi		Hedefe ulaşma süresi		Toplam ulaşılan hedef sayısı	
μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
56	7	56	7	532	40	120	51	5	0
122	9	129	13	548	104	171	62	5	0
200	10	238	25	342	96	103	57	3	1

Tablodan da görüldüğü gibi toplam hedef sayısı aynı olduğu halde toplam ulaşılan hedef sayısı ortamdaki engel sayısı arttıkça azalmaktadır. Ziyaret edilebilecek hücre sayısı azaldığından ortamı her hücreden en az bir kez geçecek şekilde tarama süresi azalmaktadır. Ortamdaki gerçek engel sayısı ve robotun kendi ürettiği haritadaki engel sayıları değişmektedir. Bunun nedeni bazı engellerin rasgele yerleşmeleri sonucu aralarda kalan engelsiz bölgelerin de ulaşılamaz duruma gelmesi ve robot tarafından engel olarak işaretlenmesidir. Asıl amaca (tüm hedeflerin bulunması) ulaşmak için geçen süre engel sayısı arttıkça azalmaktadır. Fakat değerlendirme yapılırken ulaşılan hedef sayısı da göz önüne alınmalıdır ki ulaşılan hedef sayısı büyük ölçüde azalmaktadır. Bu deney sonuçları çok engelli bir bölgede tarama yapmanın ne kadar zor olduğunu göstermektedir. Engeller kara ortamında aşılması güç olan yerler olarak düşünülmektedir. Robot haritasını oluşturduktan sonra engellerle örtülü alan büyük bir alanı kaplıyorsa kurye engelli alan içine robotları taşıyarak engellerin aşılmasını sağlayabilir.

Bir başka deneyde önerilen bütünleşik yöntemler diğer tarama yöntemi ile karşılaştırılarak önerilen yöntemin etkinliği sınanmıştır.

Tablo 2. Tarama yöntemlerinin karşılaştırma sonuçları.

Algı Alanı	Greedy Mapping Yöntemi				Önerilen Yöntem			
	Tarama süresi		Amaca ulaşma süresi		Tarama süresi		Amaca ulaşma süresi	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
2	412	24	270	72	564	41	174	80
3	407	16	267	51	541	37	93	43
4	402	14	232	71	519	27	66	31

Her iki yöntemi karşılaştırmak için aynı rasgele oluşturulmuş ortamlar denenmiştir. Ortamdaki hedef sayısı 5 ve ortalama engel yoğunluğu sayısı (engel içeren hücre sayısı) 30 iken elde edilen sonuçlar Tablo-2'de verilmiştir. Bu sonuçlar 25 bağımsız çalıştırmanın ortalama (μ) ve standart sapma (σ) değerlerini göstermektedir. Farklı algı alanları için deneyler yapılmıştır. Robotun algı alanı arttıkça amaca ulaşma süresinin azaldığı açık olarak görülmektedir. Bu durumda algılayıcı seçiminin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Tablodan da görüldüğü gibi önerilen yöntemde amaca ulaşma süresi diğer yöntemlere göre oldukça azdır. Bu da hedefe erken ulaşılması gereken uygulamalar için oldukça önem taşıyan bir durumdur. Tarama süresinin önerilen yöntemde daha fazla olduğu görülmektedir. Bu da bir çok uygulama için hedefe ulaşma süresinin yanında kabul edilebilecek bir durumdur. Dolayısıyla önerilen yöntem ile hedefe daha kısa sürede ulaşmak mümkün olmaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada askeri ve sivil amaçlı ortam temizleme, mayın tarama ve arama kurtarma etkinliklerinde kullanılabilen özerk robotlar için arama amacıyla tarama yapmak üzere etkin bir planlama yöntemi önerilmiştir. Robotların görevlerini başarıyla tamamlayabilmeleri için özellikle hava yoluyla hareket eden bir ulaştırma birimi ile çalışma ortamına koyulup daha sonra gerekirse engellerle çevrili bir alan içine taşınarak hedefe ulaşmaları sağlanmaktadır. Önerilen planlama stratejisini uygulayan robotlar tamamıyla özerk bir çalışma yürüttüklerinden insan-makine iletişimine gerek kalmadan kısa yoldan hedefe ulaşım tasarımı amaçlarını gerçekleyebilirler. İnsanların erişemediği veya insanlar için tehlikeli olabilecek ortamlarda kullanılabilmeleri nedeniyle oldukça yarar sağlayabilirler. Literatürde başarılı olan bir tarama yöntemi ile yapılan karşılaştırmalar ve deneyler, önerilen yöntemin kısa zamanda hedefe ulaşma amacıyla kullanılmasının etkili sonuçlar doğuracağını göstermektedir.

Çalışmanın ileri safhalarında gerçek ortamda gerçek robotlarla deneyler yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada önerilen sistem bir robotun planlaması ile ilgili olup bir ortamda birbirleri ile koordineli şekilde çalışan birden çok robotun planlama stratejisi üzerinde yapılacak

çalışmalar daha etkin bir planlama stratejisinin ortaya koyulması açısından yararlı olabilir. Çalışmanın tek robot için önerilen ve sunulan şeklinin hedefe kısa sürede ulaşmada etkili olduğu ve bu konuda yapılacak ileri çalışmalar ve gelişmeleri destekleyeceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Koenig S., et al. "Greedy Mapping of Terrain", *International Conference on Robotics and Automation 2001*, 2001, 3594-3599.
- [2] Murphy R., et al., "Potential Tasks and Research Issues for Mobile Robots in RoboCup Rescue", *RoboCup 2000*, 2000, 339-344.
- [3] Weiss G., *Multi Agent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, England: The MIT Press, 1999.
- [4] Zhang Y., Schervish, M. Choset, H., "Probabilistic hierarchical spatial model for mine locations and its application in robotic landmine search", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*, 2002, 681-689.