

Robot Navigasyonunda Potansiyel Alan Metodlarının Karşılaştırılması ve İç Ortamlarda Uygulanması

Eyüp Çınar¹

Osman Parlaktuna²

Ahmet Yazıcı³

^{1,2} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

³ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

¹e-posta: ecinar@ogu.edu.tr

²e-posta: oparlak@ogu.edu.tr

³e-posta: ayazici@ogu.edu.tr

Özetçe

Gezgin robotların kullanımı birçok alanda her geçen gün artmaktadır. Etkin yol planlama ve gezinim, robotik uygulamaların başarısında zorunlu unsurlardır. Bu çalışmada, laboratuvar ortamında bir başlangıç pozisyonundan bir hedef pozisyonuna gezinimi sağlamak için yol planlama algoritması ve gezinim algoritması birleştirilmiştir. Yol planlama algoritması olarak A* algoritması ve yerel izleme için potansiyel alan yaklaşımının iki farklı versiyonu karşılaştırılmalı olarak kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemlerin etkinliğini göstermek amacıyla Player/Stage benzetim ortamı kullanılarak benzetimler gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gezgin robot, Yol planlaması, Potansiyel Alan Metodu

1. Giriş

Yol planlaması ve bu yolun takibi gezgin robot çalışmalarında önemli yer tutmaktadır [1], [2] ve [3]. Bu alanda yapılan çalışmalarda, mesafe, zaman, enerji vb. parametrelerin en iyilenmesi [4], yolun araç hareketini engelleyici engellere sahip olmaması, veya araç manevrasına (kinematik modeli ile ilintili) uygun olması [5], [6] gibi değişik kriterler gözönüne alınmaktadır [1]. Uygulama tipine bağlı olarak bu alanda çok farklı yöntemler geliştirilmekte veya karma olarak kullanılmaktadır [2]. Genetik algoritma tabanlı yöntemler [7], potansiyel alan yöntemleri [8], [9], ve [10], sezgisel çözüm yöntemleri [11], [12] yol planlaması ve

gezinim problemlerinde kullanılmaktadırlar. Uygulama tipine bağlı olarak her yöntemin zayıf veya güçlü yönleri bulunmaktadır. Bu alandaki yöntemler hesaplamalardaki zorluklar, kısmi en azı bulma, problem ortamına uygunluk vb. gibi konularda zayıf ve güçlü yönler açısından ayrıştırılmaktadırlar. Problemlerin alternatif ve daha verimli yöntemler ile çözümü bu alanda aktif bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir [13], [14].

Bu çalışmada laboratuvar ortamında robotun bir başlangıç noktasından bir hedef noktasına en kısa yoldan ve önüne çıkan engelleri aşmadan gidebilmesi için yöntem geliştirilmiştir. Ortam hakkında genel bilginin olduğu varsayılarak (bağlantı noktaları, oda girişi çıkışları, yerleri vb. gibi) öncelikle A* algoritması ile genel bir planlama yapılmış, robot için en kısa yol planlanmış, daha sonra planlanan yolun takibi ve yerleri önceden bilinmeyen engellerden sakınma davranışı için potansiyel alan yöntemleri kullanılmıştır. Potansiyel alan yöntemlerinden yeni potansiyel alan yaklaşımının robot navigasyonunda klasik yaklaşıma göre üstünlüğü gösterilmiştir. Önerilen yöntem Player/Stage benzetim ortamında test edilmiştir.

Çalışmanın yapısı şu şekildedir: Bölüm 2’de global planlama yöntemlerinden A* hakkında genel bilgi verilmiştir. Bölüm 3’te iki farklı potansiyel alan yaklaşımının temel özellikleri açıklanmıştır. Bölüm 4’te kullanılan benzetim programı tanıtılmıştır. Bölüm 5’te laboratuvar

ortamındaki uygulamanın benzetimi ve sonuçları anlatılmış, son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. A* yol planlama yöntemi

Bu çalışmada, yol planlaması yapılırken ortamın genel yapısının (ziyaret edilecek noktaların koordinatları ve bunlar arasındaki bağlantı durumlarının) önceden bilindiği varsayılmaktadır. A* planlama yöntemi, ortamın bilinen bu genel özellikleriyle gezgin robot için genel bir rota planlanmasında kullanılmıştır.

Gidilecek bir yolun yaklaşık maliyeti $f(n)=g(n)+h(n)$ şeklinde hesaplanır. Burada $g(n)$ ziyaret edilecek bir ara nokta olan n noktasına ulaşma maliyetini, $h(n)$ ise n noktasından hedefe olan tahmini en az maliyetli yoldur. A* yöntemi eğer $h(n)$ hedefe ulaşma maliyetini hiçbir zaman aşırı tahmin etmiyorsa, sonucun her zaman optimal olduğunu garanti etmektedir [11]. Bu çalışmada, $h(n)$ için iki nokta arasında doğrusal mesafe kullanılmıştır. A* yöntemi MATLAB'ta kodlanarak Linux işletim sistemi altında Player/Stage benzetim programıyla birlikte çalıştırılmak üzere tek başına çalışır exe dosyası haline çevrilmiştir. A* algoritmasının sözde kodu (pseudo code) aşağıdaki gibidir.

- 1)Hedef düğümü oluştur; hedef_düğüm diye isimlendir
- 2) Başlangıç düğümü oluştur; baslangic_düğüm şeklinde isimlendir
- 3) Bütün düğümleri AÇIK listeye koy
- 4) başlangıç_düğümü KAPALI listenin içine koy
- 5) ata_düğüm_indis listesini sıfırla
- 6) AÇIK liste boş değilken aşağıyı tekrarla
{
KAPALI listedeki her bir düğüm için en düşük f maliyetli ardıl düğümü bul;
Hedef düğüme ulaşıp ulaşılmadığını kontrol et; eğer ulaşıldıysa DUR;
Bu ardıl noktayı AÇIK listeden çıkar
KAPALI listeye koy

mevcut düğümü ata_düğüm_indis listesine koy
}
ata_düğüm_indis listesini kullanarak en kısa yolu bul.

3. Gezinim Yöntemi: Potansiyel Alan Yaklaşımı

Potansiyel Alan Yaklaşımı otonom gezgin robotların engellerden sakınarak istenilen hedefe gitmelerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Potansiyel alan yaklaşımının temel kavramı robotun çalışma alanının yapay bir potansiyel alanla dolu olduğunu kabul etmektir. Robotun gideceği hedef çekici bir vektör yaratarak robotun hedefe çekilmesini, robotun yakınındaki engeller ise itici vektörler yaratarak robotun engellerden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.

Robot bu çekici ve itici vektörlerin bileşkesi sonucu elde edilen yönde ve hızda hareket etmektedir. Klasik Potansiyel Alan yaklaşımında, engellerin yakınındaki ulaşılamayan hedefler problemi ortaya çıkmaktadır[8]. Bu problemin sebebi oluşturulan potansiyel alandan gelen itici kuvvetin, robot engelin yakınında iken hedefin ürettiği çekici kuvvetten daha fazla olmasıdır, bu sebeple robot belirtilen hedefe ulaşamamaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmemiz için, toplam potansiyel alan kuvvetinin hedef noktasında bütünsel bir minimumunun bulunması sağlanmalıdır [8].

Klasik ve yeni potansiyel alan yaklaşımında çekici potansiyel alan fonksiyonu:

$$U_{çek}(q) = \frac{1}{2} \zeta \rho^m(q, q_{hedef}) \quad (3.1)$$

ve çekici kuvvet ise:

$$F_{çek} = -\nabla U_{çek}(q) = \xi(q_{hedef} - q) \quad (3.2)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada q robotun $q = [x \ y]^T$ ile gösterilen mevcut pozisyonudur, q_{hedef} ise gidilecek hedef noktanın koordinatlarıdır. ξ pozitif bir çarpandır. Klasik potansiyel yaklaşımda

kullanılmakta olan itici potansiyel alan fonksiyonu:

$$U_{it}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho(q, q_{engel})} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2, & \text{eger } \rho(q, q_{engel}) \leq \rho_0 \\ 0, & \text{eger } \rho(q, q_{engel}) > \rho_0 \end{cases} \quad (3.3)$$

$F_{it} = -\nabla U_{it}(q)$ olup

$$F_{it} = \begin{cases} \frac{1}{\rho^2(q, q_{engel})} \nabla \rho(q, q_{engel}) & \text{eger } \rho(q, q_{engel}) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{eger } \rho(q, q_{engel}) > \rho_0 \end{cases} \quad (3.4)$$

şekindedir.

Yeni potansiyel alan yaklaşımında itici potansiyel fonksiyon ve itici kuvvet ise şu şekildedir:

$$U_{it}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho(q, q_{engel})} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \rho^n(q, q_{hedef}), & \text{eger } \rho(q, q_{engel}) \leq \rho_0 \\ 0, & \text{eger } \rho(q, q_{engel}) > \rho_0 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$F_{it} = \begin{cases} F_{it1} n_{ER} + F_{it2} n_{RH} & \text{eger } \rho(q, q_{engel}) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{eger } \rho(q, q_{engel}) > \rho_0 \end{cases} \quad (3.6)$$

Burada denklem 3.5 teki n pozitif bir sabit olup n=0 için klasik yaklaşıma dönüşmektedir. $n_{ER} = \nabla \rho(q, q_{engel})$, $n_{RH} = -\nabla \rho(q, q_{hedef})$, sırasıyla engelden robot yönüne ve robottan hedef yönüne çizilen birim vektörlerdir.

$$F_{it1} = \eta \left(\frac{1}{\rho(q, q_{engel})} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{\rho^n(q, q_{hedef})}{\rho^2(q, q_{engel})} \quad (3.7)$$

$$F_{it2} = \frac{n}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho(q, q_{engel})} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \rho^{n-1}(q, q_{hedef}) \quad (3.8)$$

$\rho(q, q_{engel})$ robot ile engel arasındaki minimum mesafedir, $\rho(q, q_{hedef})$ hedef ile robot arasındaki mesafedir, ρ_0 ise engelin etkili olduğu mesafe olup n ve η pozitif sabit

sayılardır. Toplam bileşke güç vektörü şu şekilde hesaplanır

$$F = F_{çek} + F_{it} \quad (3.9)$$

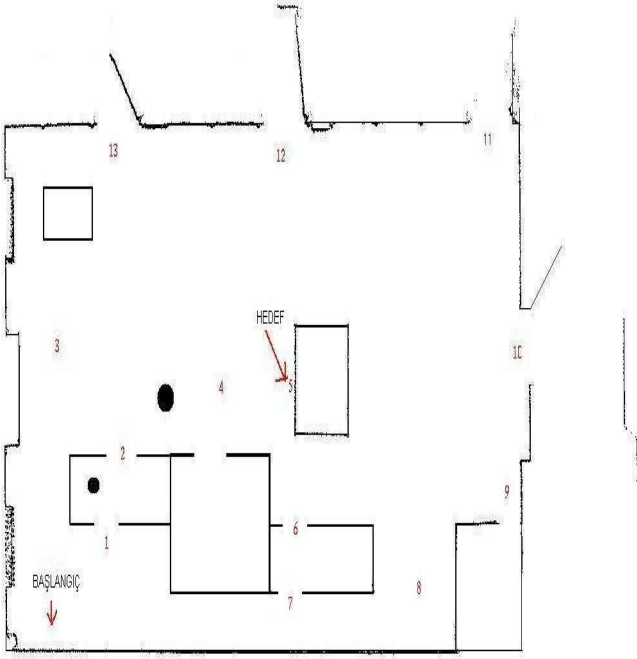
Denklem 3.3 ile karşılaştırıldığında, denklem 3.5, $\rho^n(q, q_{hedef})$ 'in katılmasıyla itici potansiyelin $q=q_{hedef}$ durumunda sıfır olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla bütünsel bir minimumun bulunması sağlanmış olur ve robot engel yakınındaki bir hedef noktaya çekici kuvvetle ulaşabilir [8].

4. Fiziksel ortamın Benzetim ortamına aktarılması: Player/Stage Benzetim Programı

Önerilen yöntem gezgin robotlar için yaygın olarak kabul gören Player/Stage benzetim ortamında uygulanmıştır [15]. Player/Stage genel kullanım lisansı altında kullanıma sunulmuş ücretsiz bir yazılımdır. Player/Stage, Linux ve Solaris platformları altında çalışmaktadır. Player bir ağ sunucusu olup robotun kontrolü için kullanılır. Robot üzerinde çalışarak algılayıcıları ve eyleyicileri kontrol eder. Player robot ile TCP/IP protokolünü kullanarak haberleşir. Kontrol programları C++, Java ve Python gibi çeşitli programlama dillerinden birinde yazılabilir. Stage, 2 boyutlu robot benzetim programıdır. Stage kullanarak robotun üzerindeki tüm elemanlar tanımlanabilir (Kamera, sonar algılayıcılar, lazer mesafe ölçücü vb.). Stage, robot davranışlarını bitmap resim dosyasından oluşan bir robot dünyasında Player'la aynı anda çalışarak benzetmektedir. Benzetim ortamı genelde yazılan kontrol algoritmalarının gerçek robot üzerinde denenmeden önce test edilmesi için kullanılmaktadır. Şekil 1'de bu çalışmada kullanılan laboratuvar ortamı gösterilmiştir.

Tablo1. Laboratuvar ortamında ziyaret edilecek noktaların koordinatları

Nokta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X (m)	4.0,	5.0,	0.7,	11.5,	16.0,	17.0,	15.2,	24.0,	30.4,	30.8,	29.0,	15.7,	4.2,
Y (m)	3.0	5.4	9.1	7.5	7.8	3.0	1.0	0.7	3.9	9.0	15.8	15.2	15.7



Şekil 1. Benzetimlerin gerçekleştirildiği laboratuvar ortamı

5. Uygulama

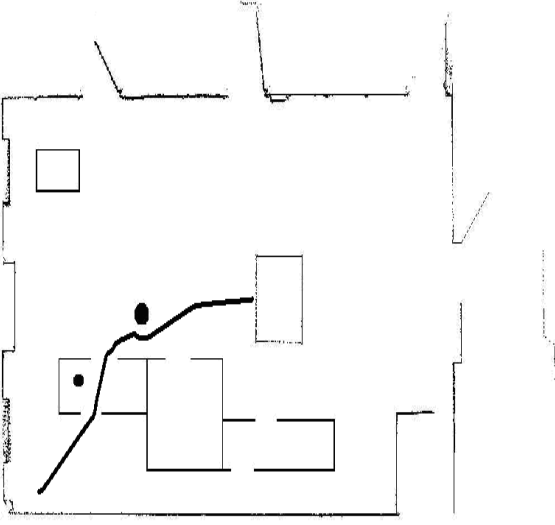
Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek amacıyla Şekil 1'de gösterilen laboratuvar ortamında robotun başlangıç noktasından 5 nolu noktaya gitmesi istenmiştir. Robotun gidebileceği 13 nokta, bu noktalar arasındaki bağlantı durumları ve aralarındaki uzaklıklar bir uzaklık matrisinde tutulmaktadır. Başlangıç noktasının koordinatları (0,0) seçilmiştir ve diğer noktaların koordinatları Tablo 1'de verilmiştir.

A* algoritması başlangıç ve hedef noktaları arasındaki bağlantıları kullanarak, robotun takip etmesi gereken yolu planlamaktadır. Bu

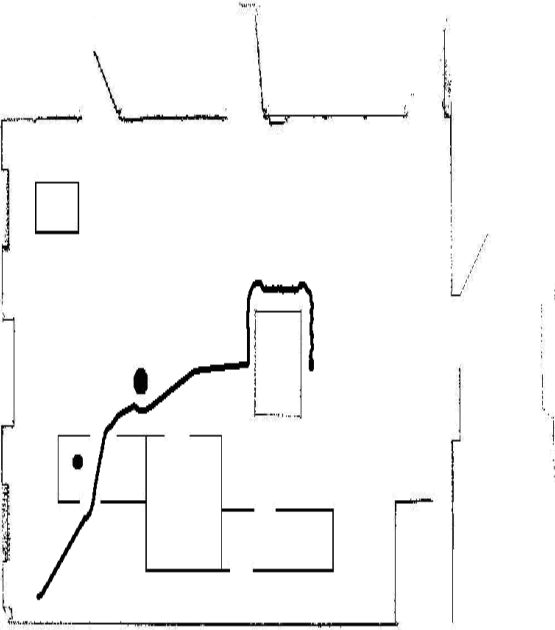
örnekte robot 1,2 ve 4 noktalarından geçerek hedefe ulaşacaktır. Bu yol planı robota verilmekte ve robot ilerlemektedir. Robotun hareketi sırasında sonar algılayıcılar çevrede engel olup olmadığını algılamakta, eğer robotun yolu üzerinde bir engel bulunursa potansiyel alan yaklaşımı kullanılarak robotun engelden sakınması sağlanmaktadır. Potansiyel alan yaklaşımında parametreler $\xi = 1$, $\eta = 0.3$ ve $n = 3$ olarak alınmıştır. Robotun izlediği yol bilgisi her 0.1 ms'de kaydedilmiş ve bu bilgi harita üzerinde çizdirilmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3). Her iki şekilde görüldüğü gibi robot 2 noktasından 4 noktasına giderken engelle karşılaşmakta ve bu engeli aşmak için aşağı yönelmekte, engelden uzaklaşınca asıl rotasına dönmektedir. Robotun ulaşacağı hedef noktası duvara çok yakındır, bu durum klasik potansiyel alan yaklaşımı kullanıldığında hedefe ulaşamamasına sebep olmakta ve robot farklı bir noktaya yönelmektedir (Şekil 3). Robot, hedef çevresinde sürekli dolaşmakta, ancak hedef çevresinde engelin itici kuvveti hedefin çekici kuvvetinden büyük olduğundan sürekli olarak uzaklaşmaktadır. Engelden belli uzaklıkta itici kuvvetin etkisi azalınca robot geri dönmekte ancak bir süre sonra aynı problemle karşılaşmaktadır. Bu şekilde robot hedef civarında dolaşmakta ve bir türlü hedefe tam ulaşamamaktadır. Ge ve Cui tarafından önerilen yeni potansiyel alan yönteminde ise bu problem ortadan kaldırılmakta ve robot hedef noktaya ulaşmaktadır (Şekil 2).

Robotun durduğu noktanın koordinatları (15.909, 7.831) dir. Bu nokta hedefe, (15.9, 7.8), çok yakındır. Her iki yaklaşım için robotun izlediği yolları gösteren videolar

www.ai-robotlab.ogu.edu.tr web adresinde bulunmaktadır.



Şekil 2. Yeni Potansiyel Alan Yaklaşımı Kullanılarak Robotun Dolaşımı



Şekil 3. Klasik Potansiyel Alan Yaklaşımı Kullanılarak Robotun Dolaşımı

6. Sonuçlar:

Bu çalışmada otonom bir robotun laboratuvar ortamında gezinebilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Robotun ziyaret edeceği noktalar ve bu noktalar arasındaki bağlantı ve mesafeler bilindiğinde, A* yöntemi kullanılarak robotun izleyeceği yol planlanmıştır. Robotun planlanan yolu takip etmesi ve yolda çıkabilecek engelleri aşması için potansiyel alan yaklaşımı kullanılarak robotun hareketi sağlanmıştır. Robotun gideceği hedef nokta bir engelin (örneğin duvar kenarı) yakınında olduğu durumda klasik potansiyel alan yöntemi robotu hedefe ulaştıramamaktadır. Ancak geliştirilen yeni potansiyel alan yöntemi bu problemi ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışmada iki farklı potansiyel alan yöntemi aynı probleme uygulanmış ve yeni potansiyel alan yaklaşımının daha etkin olduğu gösterilmiştir.

7. Kaynakça.

- [1] Latombe J. C., *Robot motion planning*, Boston: Kluwer Academic Publisher. 1991.
- [2] LaValle S.M., *Planning Algorithms*, Cambridge University Pres. .2006.
- [3] Willms A.R., Yang S.X. "An efficient dynamic system for real-time robot-path planning," *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B-cybernetics* v.36 (4), pp.755-766, 2006.
- [4] Hu Y. and Yang S.X. "A knowledge based genetic algorithm for path planning of a mobile robot," *Proceedings of the IEEE international Conference on Robotics & Automation*, pp.4350-5355, 2004.
- [5] Laumond J.P., Jacobs P.E., Taix M., Murray R.M. "A Motion Planner for Nonholonomic Mobile Robots," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, v.10 (5), pp.577-593, 1994.
- [6] Larin V. B., "Motion Planning for a Wheeled Robot (Kinematic

- Approximation),” *International Applied Mechanics*, v.41(2), pp.187-196., 2005.
- [7] Elshamli A., Abdullah H.A., Areibi S., “Genetic algorithm for dynamic path planning,” *Proceedings of the IEEE international Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, v.2, pp.677-680, 2004.
- [8] Ge S.S. and Cui Y.J., “New potential functions for mobile robot path planning,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, v.16 (5), pp.615-620, 2000.
- [9] Ge S. S. and Cui Y. J. “Dynamic Motion Planning for Mobile Robots Using Potential Field Method,” *Autonomous Robots*, v.13, pp.207–222, 2002.
- [10] Poty A., Melchior P., Oustaloup A., “Dynamic path planning for mobile robots using fractional potential field,” *Proceedings of the IEEE International Symposium on Control, Communications and Signal Processing*, pp.557–561, 2004.
- [11] Russell S. and Norving P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2nd Edition, Prentice Hall, 2003.
- [12] Stentz A., “Optimal and efficient path planning for partially-known environments,” *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*, v.4, pp.3310–3317, 1994.
- [13] Huh D.J., Park J.H., Huh U.Y., Kim H. “Path planning and navigation for autonomous mobile robot,” *IEEE 28th Annual Conference on Industrial Electronics Society*, vol.2, pp.1538-1542, 2002.
- [14] Howard A., Seraji H., Werger B., “Global and regional path planners for integrated planning and navigation,” *Journal of Robotic Systems*, v.22(12), pp.767-778, 2005.
- [15] Player/Stage (available: April 2007), <http://playerstage.sourceforge.net>