

YILAN BENZERİ ROBOTLAR İÇİN BİR YÖRÜNGE PLANLAMA ALGORİTMASI

E. Şahin ÇONKUR¹

Abdullah T. TOLA²

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi
Pamukkale Üniversitesi, 20017, Çamlık, Denizli

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi
Pamukkale Üniversitesi, 20070, Kınıklı, Denizli

¹e-posta: sconkur@pamukkale.edu.tr

²e-posta: attola@pamukkale.edu.tr

Anahtar sözcükler: Yılan benzeri robot, Yörünge planlaması, Potansiyel alan

ABSTRACT

Snake-like robots have the ability of automatically performing various tasks that require man-equivalent capabilities by reaching areas difficult or impossible to reach for human beings. However, problems in path planning and design of such robots prevent them from being fully functional. In this paper, a path planning algorithm for snake-like robots with wheels is presented. Snake-like robots are modeled with discreet serial links employing many degrees of freedom. They are able to follow smoothly curved paths consisting of many points by determining their configurations to reach the goal while avoiding obstacles in the workspace. Using a computer program we developed, several simulations have been accomplished to show the effectiveness of the algorithm.

1. GİRİŞ

Yılanın fiziksel özelliklerinden esinlenerek icad edilmiş olan yılan benzeri robotlar, zeki ve mobil robotlar olup, gereğinden çok serbestlik dereceli robot kolları ailesindedir. Yılan benzeri robotlar, yılan gibi uzun ve ince yapılarındaki linkleri ve mafsalları hareket ettirerek belirlenen bir görevi başarabilmektedirler. Bu tür mobil robotlar pek çok uygulama alanında kullanılabilir. Bilinmeyen alanların tetkiki, nükleer reaktörün içerisinde kontrolü, felaket durumlarında kazazedelerin kurtarılması ve hassas ameliyatlarda cerrahlik yapılması gibi insanın ulaşamayacağı ya da ulaşmasının güvenli olmadığı uygulamalarda kullanılabilir [1].

Yılan benzeri robotlar hakkında pek çok çalışma yapılmıştır. Yılanların biyolojik ve fizyolojik yapıları incelenmiş ve bu yapıların yılan benzeri robotlara uygulanmasına çalışılmıştır [2]. Yılanların iskelet yapısı çok küçük kemiklerin birleşmesinden oluşmaktadır. Gerçek yılanın çok benzeyen robot sayısı çok azdır. Çünkü robotların hareket planlama algoritmalarında ve çok sayıda küçük linkin seri

bağlanmasının getirdiği tasarım sorunları bulunmaktadır [3].

Yılan benzeri robotlar, aslında mobil robotlar ile gereğinden çok serbestlik dereceli robot kollarının bir kombinasyonu şeklinde düşünülebilir. Yılan benzeri robotlar, tümüyle bir yerden diğer yere hareket edebildiklerinden dolayı mobil robotlar olarak kabul edilebilirler. Literatürde tekerlek kullanılmayan örnekleri varsa da yılan benzeri mobil robot hareketi için genellikle tekerlek kullanılmaktadır [4].

Gereğinden çok serbestlik dereceli robot kollarının hareketinde serbestlik derecesi fazla olduğundan dolayı yılan hareketini andırmaktadır; bu yüzden yılan benzeri robotlar aynı zamanda gereğinden çok serbestlik dereceli robot kolları olarak ta kabul edilirler [5]. Genelde, robot kolları hakkındaki araştırmalar yılan benzeri robotlar için bir çerçeve altyapı oluşturmaktadır [1].

Gereğinden çok serbestlik dereceli robot kolları, bir engelle karşılaştıklarında bu engele çarpmadan yola devam edebilmeleri için gerekli sonsuz sayıda çözüm kümesine sahiptir [6]. Gereğinden çok serbestlik dereceli robot kolları eğer çok sayıda ayrık linkin seri bağlanmasıyla oluşmuşsa *yılanımsı robot* olarak adlandırılmaktadır. Eğer bu robot kolları uzunluğu boyunca keskin kıvrımı olmaksızın rahatlıkla kıvrılabilirse o zaman *sürekli robot* olarak isimlendirilmektedirler [7]. Her iki türde de çok sayıda araştırma ve örnek literatürde bulunmaktadır [7-15].

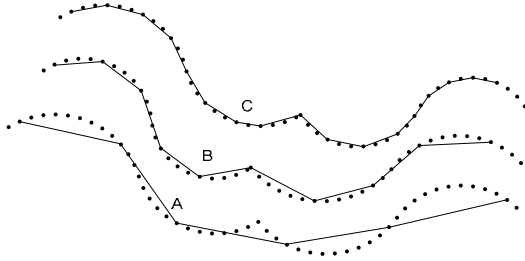
Bu çalışmada, yılan benzeri tekerlekli bir robotun yörünge planlama probleminin çözümünü için bir yöntem önerilmiştir. İncelenen yılan benzeri robotun seri linklerle birbirine bağlandığı, böylece bu robotun gereğinden çok serbestlik dereceli bir robot kolu olarak da düşünülebileceği varsayılmıştır. Sayısal olarak hesaplanan potansiyel alan algoritması yılan benzeri robotun ucundan hedefe kadar yumuşak dönüşlü bir yörünge belirleyebilmektedir. Bu yol

birbirine çok yakın noktaların birleşiminden elde edilmektedir. Böylece yol için cebirsel bir formulasyon zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Yılan benzeri robot bu yörünge üzerinde yılanımsı bir hareketle ilerlemektedir. Aslında yılan benzeri robotun ucu yolu takip etmekte, diğer linkler de onu takip etmektedir. Önceden çalışma ortamındaki engellere göre bu yörünge belirlendiğinden, yılan benzeri robotun hareketi sırasında engellere çarpması da böylece önlenmiş olmaktadır. Engellerin konumunun problem boyunca değişmediği yani statik kaldığı varsayılmıştır. Kararlı ve güvenilir olan algoritma gerçek zamanda çalışabilmektedir.

2. ALGORİTMA

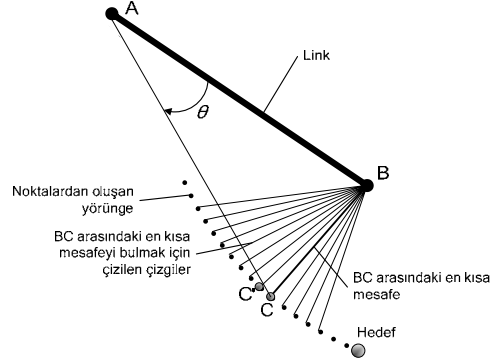
Yılan benzeri robotun uç noktasının yörünge planlaması için potansiyel alan algoritması yöntemi kullanılmaktadır [16,17]. Bu algoritma, robotun ucundan hedefe doğru birbirine oldukça yakın noktalardan oluşan keskin dönüşleri olmayan bir yol bulmaktadır. Yılan benzeri robotun her bir linkinin ucu bu noktalar üzerinde tutularak, yılan hedefe doğru hareket ettirilmektedir. Bu olay yılanın yörüngeyi takip etmesi olarak isimlendirilmektedir.

Şekil 1’de üç adet farklı link uzunluklarına sahip yılan benzeri robotun aynı yörünge üzerinde konuşlandırılması görülmektedir. Şekil 1’den de anlaşılacağı gibi C isimli yılan benzeri robot en küçük link uzunluğuna sahiptir; dolayısıyla yörünge üzerine A ve B robotlarına göre daha az hata ile konuşlanmıştır.



Şekil-1. Farklı link uzunluklarına sahip yılan benzeri robotların aynı yörünge üzerinde konuşlandırılması

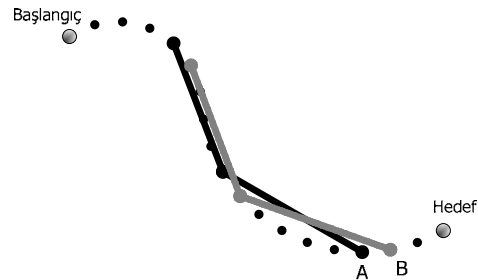
Şekil 2’de ise bir robot linki ve yörüngeyi küçük bir parçası görülmektedir. Yörünge üzerindeki noktalar birbirlerine çok yakın olmakla birlikte, kolay anlaşılması için Şekil 2’de ayrı çizilmiştir. Linkin ucu olan B noktasının yörüngeyi takip etmesini istiyoruz. Bu yüzden B noktası ile civarındaki yörünge noktaları arasındaki en kısa mesafe sayısal olarak hesaplanmaktadır. En kısa mesafede olan nokta (Örneğin Şekil 2’de C’ noktası) belirlendikten sonra trigonometrik bağıntılar kullanılarak linkin ne kadar bir açı ile döneceği tespit edilmekte ve link döndürülmektedir. A ucuna bağlı olan link ve diğer linkler için de benzer işlemler yapılmaktadır.



Şekil-2. Dönüş açısının belirlenmesi için en kısa mesafenin tespit edilmesi

Yılan benzeri robot her adımda yukarıda anlatılan işlemleri tüm linkler için tamamlandıktan sonra ekranda çizdirilmekte, böylece ekranda gereksiz dalgalanmaların önüne geçilmektedir. Bu işlemler küçük adımlarla sürekli olarak tekrarlanmakta ve robotun hedefe ulaşması sağlanmaktadır.

Tüm algoritma Şekil 3’de özetlenmektedir. Bu şekilde iki linkli basit bir yılan benzeri robot görülmektedir. Robotun yukarıda anlatıldığı gibi hareket ederek hedefe ulaşması istenmektedir. Şekilde sadece iki ardışık hareket gösterilmiştir. İlk durumda robotun ucu A noktasındadır. Uç noktası daha sonra B noktasına doğru hareket etmektedir. İkinci link de bu sırada yeniden konuşlandırılmıştır. Genelde linklerin yeri değişmiş fakat linklerin yörünge üzerindeki konuşlandırılması bozulmamıştır. Bu işlem robot ucu hedefe ulaşmaya kadar tekrarlanmaktadır.

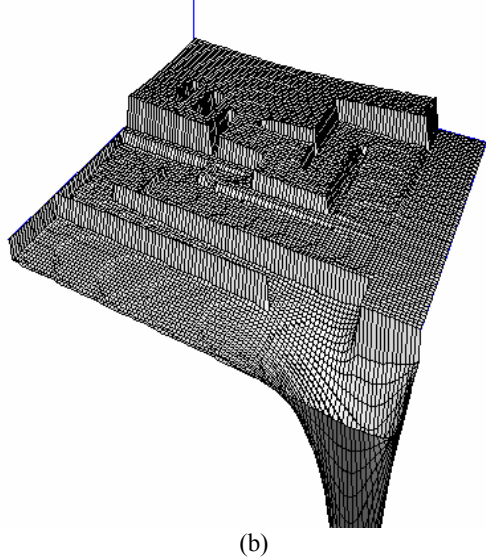
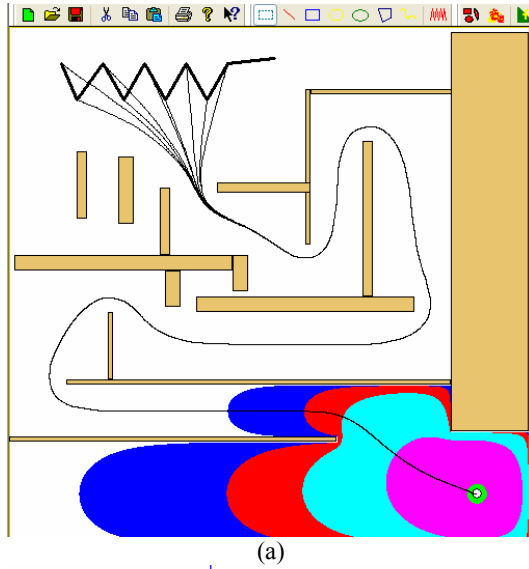


Şekil-3. İki linkli bir yılan benzeri robot için ardışık iki hareketin gösterilmesi

3. BENZETİM

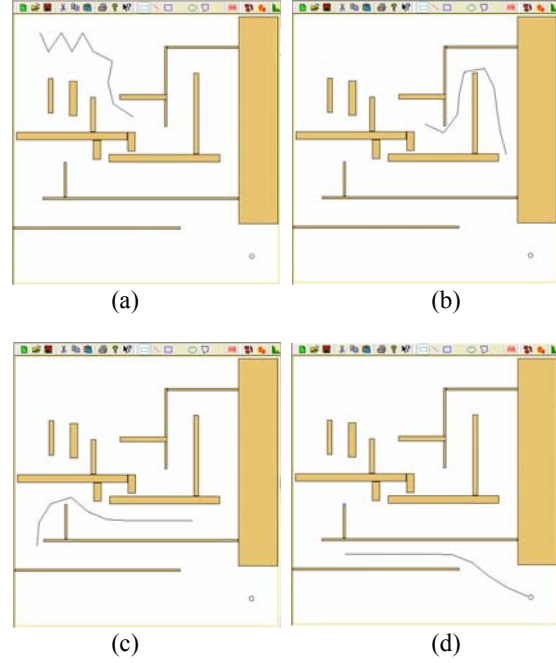
Yılan benzeri robot benzetimi geliştirdiğimiz bir yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Yazılım Visual C++ .NET ortamında geliştirilmiş olup potansiyel alan yöntemini kullanarak robot için yörünge planlaması yapmaktadır. Ekranda çeşitli robot kolları, mobil robotlar, engeller ve hedefler çizilerek benzetim için gerekli çalışma ortamı oluşturulmaktadır. Çizilen objelerin yerleri, renkleri, boyutları kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

Bu kısımda yılan benzeri robot için gerçekleştirilen benzetimlerden sadece bir tanesi örnek olarak sunulacaktır. 9 linkten oluşan yılan benzeri robot ve engellerden oluşan çalışma ortamı Şekil 4a'da sunulmuştur. Yılan benzeri robot ucundan hedefe doğru takip edilmesi gereken yörünge de aynı şekilde görülmektedir. Aynı alan değerine sahip olan bölgeler aynı renktedir. Aynı ortamın üç boyutlu görüntüsü ise Şekil 4-b'de verilmiştir. Burada x ve y eksenleri alan koordinatlarını vermekte, z eksenine ise potansiyel alan değerlerini göstermektedir. Şekil 4b'deki potansiyel alan kavramını daha iyi anlamak için şeklin herhangi bir yerinden bırakılan bir topu düşünelim. Top eğimden dolayı kendi kendine yuvarlanarak hedefe ulaşacaktır. Dikkat edilirse yılan benzeri robotun her bir linkinin hedefe varması için kendine özgü bir yörüngesi vardır. Şekil 4'den görüleceği gibi bu yollar belli bir noktada kesişmekte ve yoluna beraber devam etmektedir.



Şekil-4. Örnek benzetim için a) çalışma ortamı b) üç boyutlu görünüm

Benzetimler bir P4, 2.4MHz dizüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Potansiyel alanın ve yörüngenin gerçekleştirilmesi 1 saniye civarında zaman alırken, yılan benzeri robotun hedefe varması 1 saniyenin altında olmaktadır. Bu örneğe ait anlık görüntüler Şekil 5'de sunulmuştur.



Şekil-5. Yılan benzeri robotun hedefe olan hareketinden anlık görüntüler.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yılan benzeri tekerlekli robotlar için hareket planlama algoritması ele alınmıştır. Geliştirilen algoritma engeller arasında yılan benzeri robotları hedefe ulaştırmaktadır. Bu robotlar, birbirine seri bağlı linklerden oluşan gereğinden çok serbestlik dereceli robot kolları gibi düşünülmüştür. Sayısal potansiyel alan yöntemi kullanılarak yılan benzeri robotun link ucundan hedefe doğru yumuşak dönüşlü bir yörünge tespit edilmiştir. Yılan benzeri robot, birbirine yakın noktalardan oluşan bu yörünge üzerinde yılanımsı hareketler yaparak hedefe doğru ilerlemektedir. Verilen örnekte de görüldüğü gibi, çok serbestlik dereceli yılan benzeri robot; her bir linkinin uç noktasını yörünge noktalarında tutmak suretiyle hedefe ulaşmaktadır. Geliştirilen algoritma güvenilirdir ve gerçek zamanda çalışmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 104M260 numaralı 2004 Tubitak Kariyer Projesi ve K120950 numaralı 2003 DPT projesi tarafından kısmen desteklenmiştir. Bu desteklerinden dolayı Tubitak ve DPT Proje birimi yetkililerine teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

- [1] Kyriakopoulos, K. J., Migadis G. and Sarrigeorgidis K., The NTUA Snake: Design, Planar Kinematics, and Motion Planning, *JOURNAL OF ROBOTIC SYSTEMS*, Vol 16, Iss 1, pp. 37-72, 1999.
- [2] Dowling K. J., Limbless Locomotion: Learning to Crawl with a Snake Robot, PhD Thesis, CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, Pittsburgh, USA, 1997.
- [3] Crespi A., Badertscher A., Guignard A and Ijspeert A. J. , Amphibot I: an Amphibious Snake-like Robot, *ROBOTICS AND AUTONOMOUS SYSTEMS*, Vol 50, Iss 4, pp. 163-175, 2005.
- [4] Matsuno, F. and Suenaga K., Experimental Study on Control of Redundant 3d Snake Robot Based On Kinematic Model, *PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADAPTIVE MOTION OF ANIMALS AND MACHINES*, Kyoto, Japan, 2003.
- [5] Yamakita, M., Hashimoto M. and Yamada T., Control of Locomotion and Head Configuration of 3D Snake Robot (SMA), *PROCEEDINGS OF THE 2003 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS & AUTOMATION*, Taipei, Taiwan, 2003.
- [6] Conkur E. S. and Buckingham R., Clarifying the Definition of Redundancy as Used in Robotics, *ROBOTICA*, Vol 5, Iss 5, pp. 583-586, 1997.
- [7] Hannan, M. W. and Walker I. D., Kinematics and the Implementation of an Elephant's Trunk Manipulator and Other Continuum Style Robots, *JOURNAL OF ROBOTIC SYSTEMS*, Vol 20, Iss 2, pp. 45-63, 2003.
- [8] Reznik, D. and Lumelsky V., Sensor-based Motion Planning in Three Dimensions for a Highly Redundant Snake Robot, *ADVANCED ROBOTICS*, Vol 9, Iss 3, pp.255-280, 1995.
- [9] Chirikjian G. S. and Burdick J. W., The Kinematics of Hyper-Redundant Robot Locomotion, *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION*, Vol 11, Iss 6, pp. 781-793, 1995
- [10] Fahimi F., Ashrafiuon H. and Nataraj C., Obstacle Avoidance for Spatial Hyper-Redundant Manipulators Using Harmonic Potential Functions and the Mode Shape Technique, *JOURNAL OF ROBOTIC SYSTEMS*, Vol 20, Iss 1, pp. 23-33, 2003.
- [11] Agirrebeitia J., Avilés R., Bustos I. F. and Ajuria G., A Method for the Study of Position in Highly Redundant Multibody Systems in Environments with Obstacles, *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION*, Vol 18, Iss 2, pp. 257-262, 2002.
- [12] Mochiyama, H., Kinematics of the Whole Arm of a Serial-Chain Manipulator, *ADVANCED ROBOTICS*, Vol 15, Iss 2, pp. 255-275, 2001.
- [13] Li, J. Z. and Trabia M. B., Adaptive Path Planning and Obstacle Avoidance for a Robot with Large Number of Redundancy, *JOURNAL OF ROBOTIC SYSTEMS*, Vol 13, Iss 3, pp. 163-176, 1996.
- [14] Choi P. J., Rice J. A. and J. C. Cesarone, Kinematics of an Indefinitely Flexible Robot Arm, *JOURNAL OF ROBOTICS SYSTEMS*, Vol 10, Iss 4, pp 407-425, 1993
- [15] Ma, S. and Kobayashi I., An Obstacle Avoidance Control Scheme for the Moray Arm on the Basis of Posture Space Analysis, *ROBOTICS AND AUTONOMOUS SYSTEMS*, Vol 32, Iss 2-3, pp. 163-172, 2000.
- [16] Conkur E.S., Buckingham R and Harrison A, The Beam Analysis Algorithm for Path Planning for Redundant Manipulators, *MECHATRONICS*, Vol 15, pp. 67-94, 2005
- [17] Conkur E. S., Path Following Algorithm for Highly Redundant Manipulators, *ROBOTICS AND AUTONOMOUS SYSTEMS*, Vol 45, Iss 1, pp. 1-22, 2003.