

SAVTEK 2008, SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ
26-27 Haziran 2008, ODTÜ, Ankara

YÜKSEK KISITLI DİNAMİK ASKERİ İNTİKAL PLANLAMA PROBLEMİNE SEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Ferhat UÇAN ^(a), D. Turgay ALTILAR ^(b)

^(a) TÜBİTAK MAM, Bilişim Teknolojileri Enstitüsü, 41470, Gebze, Kocaeli, ferhat.ucan@bte.mam.gov.tr

^(b) Yrd. Doç. Dr. İTÜ, Bilgisayar Müh. Böl., 34469, Maslak, İstanbul, altilar@itu.edu.tr

ÖZET

Çeşitli konumlarında hareketli engeller bulunan bir ortamda, bir başlangıç noktasından bir hedef noktasına minimum mesafeli hareketin yapılması şeklinde tanımlanan dinamik en kısa yol problemi, birçok alanda değişik şekillerde karşılaşılan bir problemdir. Askeri alanda birliklerin en kısa zamanda, en güvenli şekilde istenilen yere intikali de bu problemlerden biridir. İntikal problemi çok genel bir problemdir. Trafikte araç rotalamada, askeri uygulamalarda, robotik uygulamalarda, şehir ulaşımında bir yerden bir yere hangi hat üzerinden gidileceğini belirlemede, ağ üzerinde veri paketlerini yönlendirmede kullanılabilir. Bu çalışmadaki ilgi alanı askeri intikal olduğundan sistemin tasarımında askeri intikal probleminde kullanılması olası koşullar ve amaçlar düşünülerek genel bir çerçeve yapısı tanımlanmıştır.

Son yıllarda birçok büyük ölçekli ayrık bileşimsel optimizasyon problemlerinin ve yüksek-kısıtlı mühendislik problemlerinin günümüz bilgisayarları ile yaklaşık olarak çözülebilir olmasından ötürü optimizasyonun önemi daha da artmıştır. Dinamik optimizasyon problemleri, olasılıksal algoritmalar sınıfına ait olmakla birlikte rastlantısal algoritmalarından çok farklıdır. Bu çalışmada dinamik yol planlama sistemlerinde diğer yaklaşımlar kullanıldığında varolan eksikliklerin giderilmesi için, problem gerçek zaman kısıtları altında evrimsel teknikler ile çözülmüş ve çözümün başarımı diğer algoritmalarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Askeri İntikal, Dinamik Yol Planlama, Yüksek Kısıtlı Optimizasyon, Gerçek Zaman Sistemi, Algoritma Modelleme ve Simulasyon.

ABSTRACT

Dynamic path planning problem, which is defined by finding the shortest distance movement from a starting point to a target destination in an environment that contains dynamic moveable obstacles, is a problem that is encountered in different forms in many fields. In military field, the safest

transition of military units in shortest time is one of these forms. Transition problem is a very general problem. It can be used for vehicle routing in traffic, in military applications, in robotics, for determining the route between two points in urban transportation or for routing data packets in a network. As the main concern of this paper is military transition, the conditions and objectives that are most probable to be used in military transition problem are considered and a general framework is defined.

In recent years, the optimization became more important due to the possibility of solving many large combinatorial optimization problems and multi-objective engineering problems. Dynamic optimization problems belong to the probabilistic algorithms, but they are very different from randomized algorithms. In this paper, the dynamic path planning problem is solved with evolutionary methods, for compensating the existing deficiencies of the other approaches. The comparison of the success of the proposed evolutionary solution with the other algorithms is also presented.

Keywords: Military Transition, Dynamic Path Planning, Multi-objective Optimization, Real Time System, Algorithm Modelling and Simulation.

1. GİRİS

Yol planlama, en genel anlamda belirli bir harita üzerindeki herhangi bir başlangıç noktasından bir hedef noktasına giden en düşük maliyetli yolu bulmayı hedefleyen bir problem türüdür. Uzunluk, zaman, güvenlik gibi farklı maliyet kriterleri söz konusu olabilir. Seçilecek kriter uygulama alanına göre farklılık gösterir. Bu çalışmada askeri intikal ve savaş senaryoları üzerinde çalışıldığı için sistem güvenlik, hız, zaman, yol gibi farklı kriterlere göre sonuç üretebilmektedir. Statik ve dinamik yol planlama problemleri, birçok farklı uygulama alanına sahiptir. Sensör ağlarında veri paketlerinin en az sensör kullanılarak hedef noktaya taşınması, robotların engellerin bulunduğu bir ortamda göreve bağlı olarak en uygun yol ile hedefe ulaşması, harp simülasyonlarında sanal kuvvetlerin üç boyutlu ortamda belli bir hedef noktaya en kısa yolla ulaşımı, strateji oyunlarında sanal karakterlerin hareketleri, yol planlama probleminin çözümü ile mümkündür. Yapılan çalışmalar incelendiğinde standart yol planlama problemi için geliştirilen Dijkstra, Floyd, A-Star algoritmaları, Neural Network çözümü gibi yöntemlerin problemin kısıtları gerçek zamanlı olduğunda düzgün sonuç vermediği görülmüştür. Klasik optimizasyon teknikleri ile güvenlik ve uzunluk gibi yolun maliyetini etkileyen kısıtların çözüme etkisi modellenebilir, fakat bir savaş senaryosu gibi dinamik bir çevrede her değişimde çözüme yeniden başlanması işlem karmaşıklığını arttıracığından uygun değildir. Ayrıca çizgeye yeni düğümlerin ve bağlantıların eklenip çıkarılması durumunda bu algoritmalar çözüme baştan başlayacağı için kullanışsız hale gelmektedir. Evrimsel yöntemler ise amaç fonksiyonu sayesinde sadece yolun uzunluğuna değil, güvenliğine ve yoğunluğuna da bakabilmekte, dinamik olarak değişen ortam şartları için problemin çözümüne uygun bir yaklaşım sunabilmektedir [1]. Evrimsel

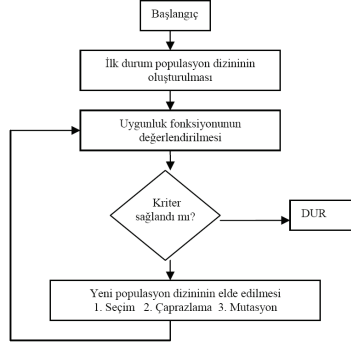
programlama tekniklerinin bir amacı yüksek-kısıtlı, dinamik problemlere çözüm önerebilmektir [2]. Evrimsel algoritmalar dinamik ortamlarda, diğer algoritmalara kıyasla işlem sayısını azalttığından daha yüksek başarımları sağlayabilmektedir [3]. Analitik yaklaşımların birçoğu ortam şartları değiştiğinde problemi verileri yenilenmiş haliyle tekrar çözme eğilimindedir [4].

Bu çalışmada diğer analitik ve sezgisel yol planlama yaklaşımları kullanıldığında varolan eksikliklerin giderilmesi için, problem gerçek zaman kısıtları altında belirlenimci yöntemler evrimsel teknikler ile birleştirilerek çözülmüş ve çözümün başarımı diğer algoritmalarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Sistemin savunma sanayi alanında hava sahasında hava aracı intikali ile ilgili simülasyonlar yapılmıştır.

2. EVRİMSEL HESAPLAMA TEKNİĞİ

Evrimsel ilkelere bağlı kalınarak oluşturulan algoritmalar evrimsel algoritmalar adı verilmiştir. Geleneksel arama metotları, probleme bir çözüm adayı önerir ve onu değiştirerek daha iyi çözümler elde etmeye çalışır. Evrimsel algoritmalar ise bir çözüm adayları toplumu oluşturur ve bu toplum zamanla evrimleşir. Bir adayın çözüme ne kadar yakın olduğu, uygulamaya bağlı bir fonksiyondur. Bir çözüm adayı bir parametreler topluluğunu, bir kuralı, bir kurallar grubunu temsil edebilir. Hepsinde algoritma adayların sonuca yakınlığını hesaplar ve buna göre bir sonraki neslin ebeveynleri olacak bireyleri belirler ve daha uygun bir yeni nesil oluşturmak için ebeveynlere genetik arama işlemcilerini uygular. Bu döngü her defasında daha düzgün bireyler oluşturularak tekrarlanır. Yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel algoritmaların alt dalları olarak genetik algoritmalar, genetik programlama, yapay sinir ağları, tabu arama ve bunlarla birlikte bulanık mantık işletme, temel bilimler ve mühendislik problemlerinde tek başına veya karma sistemler olarak kullanılabilir. Evrimsel algoritmaların en uygun olduğu problemler, geleneksel yöntemler ile çözümü mümkün olmayan yada çözüm süresi problemin büyüklüğü ile üstel orantılı olarak artanlardır. Bugüne kadar evrimsel yöntem ile çözümüne çalışılan konulardan bazıları şunlardır: Optimizasyon, Otomatik Programlama, Makine öğrenmesi, Ekonomi, Toplum genetiği, Evrim ve öğrenme [5].

Algoritma ilk olarak toplum diye tabir edilen bir çözüm seti ile başlatılır. Bir toplumdaki alınan sonuçlar, bir öncekinden daha iyi olacağı beklenen yeni bir toplum oluşturmak için kullanılır. Yeni toplum oluşturulması için seçilen çözümler uyumluluklarına göre seçilir. Çünkü uyumlu olanların daha iyi sonuçlar üretmesi olasıdır. Bu istenen çözüm sağlanıncaya kadar devam ettirilir. Evrimsel yöntemin akış diyagramı Şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Evrimsel algoritma akış şeması

3. EVRİMSEL YÖNTEMİN İNTİKAL PROBLEMİNE UYGULANMASI

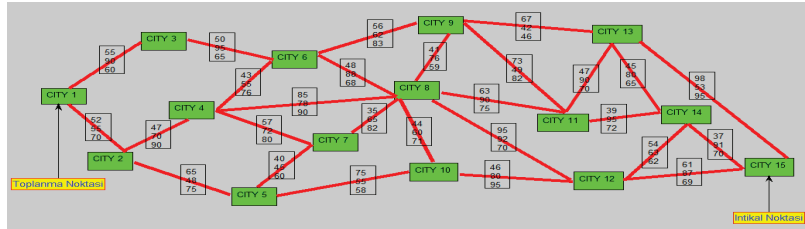
Evrimsel programlama kavramlarına bağlı olarak geliştirilecek olan evrimsel yol planlama ve seyir kontrolü yaklaşımı, genel, esnek ve adaptif bir yöntem olarak tasarlanabilir [6]. Evrimsel algoritmadaki planlama süreci entegre edilerek, farklı optimizasyon kriterlerinin tanımlanmasına ve dinamik olarak değişmesine, probleme özgü alan bilgisinin çözüme dahil edilmesine ve yüksek planlama etkinliği ile zamanla konumu değişen engellerin kontrol altında tutulmasına olanak sağlanabilir. Evrimsel algoritmalar, geleneksel optimizasyon tekniklerine göre zor, süresiz ve gürültü içeren fonksiyonların çözümünde daha etkindirler [7].

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer en iyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde nüfus adını alır. Nüfuslar vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Dinamik yol planlama sistemlerinde genetik algoritmanın tüm arama uzayını taramasına olanak sağlayabilmek için değişken boyutlu kromozomlar kullanılmaktadır [8]. Evrimsel yöntemde nüfustaki bireyler evrimsel süreç içinde genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenir. Yol planlama tarzı permutasyon gösteriminin kullanıldığı problemlerin çözümünde tasarlanan evrimsel operatörler, standart genetik algoritma operatörlerine göre farklılık gösterir [9, 10]. Evrimsel algoritmanın en önemli üç parametresi çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve toplumdaki birey sayısıdır. Çaprazlama ve mutasyon oranının belirlenmesi için farklı değerlerle denemeler yapılarak en uygun değerler bulunmuştur. Kromozom sayısı ağdaki düğüm sayısına göre belirlenmektedir.

Geliştirilen sezgisel yöntemde yolların temsili için değişken uzunluklu kromozomlar kullanılmıştır. Kromozomlar permutasyon kodlama ile kodlanırlar. Kromozomun her geni bir düğüm noktasını gösterir ve gen dizisi de çizgedeki yolu belirler. Kromozomların kalitesi ve sonuca yakınlığı uygunluk

fonksiyonu ile belirlenir. Tüm objektifleri bağlamak amacıyla genel bir uygunluk fonksiyonu tasarlanmıştır. Kromozomlar uygunluk değerlerine göre azalan sıra ile sıralanırlar. Toplumun toplam kalitesini arttırmak için uygunluk değeri yüksek kromozomların bir sonraki neslin gen havuzuna alınma şansını yükselten bir seçim operatörü kullanılır. Seçim operatörü sonucun araştırılmasını, çözüm uzayının belirli bölgelerinde yoğunlaştırır. Önerilen algoritmada, sonraki nesil için, en iyi kromozomların korunması ve örneklemeden kaynaklanacak istatistiksel hataların önlenmesi amacıyla rulet tekeri isimli seçim tekniği kullanılmıştır. Rulet tekeri tekniğine göre topluluktaki tüm bireylerin uygunluk değerleri toplanır. Bir bireyin seçilme olasılığı, uygunluk değerinin bu toplam değere oranı kadardır. Çaprazlama aşamasında, çaprazlama bölgesinden sonraki genler, ebeveyn kromozomlar arasında takas edilir. Çaprazlama noktaları iki kromozdaki genlerin aynı olduğu noktadır. Geliştirilen algoritmada iki kromozom ancak ortak gene sahipse çaprazlanabilir. Eğer birden fazla ortak gen çifti mevcut ise çiftlerin biri rastgele seçilir. Çaprazlama işlemi sonucu tekrarlı genler içeren çevrimler oluşabilir. Algoritma bir art-işlem gerçekleştirerek oluşan çevrimleri temizler ve kromozomu kısaltır. Mutasyon toplumdaki genetik çeşitliliği artırır ve aday kromozomun genlerini değiştirerek bölgesel en iyi çözümlere takılma durumunu engeller. En kısa yol probleminde bir kromozomun herhangi bir geni değiştiğinde kromozom geçerliliğini yitirebilir. Bu nedenle tek bir gen değişimi için bir dizi gen değiştirilerek kromozomun uygunluğu korunur. Seçilen iki nokta arası alternatif bir rota ile kromozom genetik değişime uğratılır. Genetik algoritma, nesil üretim döngüsündeki işlemleri sonlanma kriteri sağlanana kadar devam ettirir. Bu problem için kullanılması en uygun olan sonlanma kriteri birey benzerliğidir.

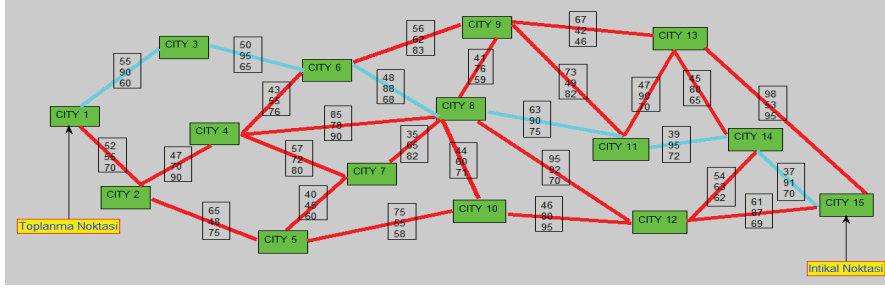
Simülasyon hava araçlarının intikali üzerine yapılmıştır. Şekil 2'deki gibi bir şehir haritasında hava araçlarının, bir intikal başlangıç noktasından hedef noktasına en güvenilir, en kısa, en düz yoldan intikali geliştirilen yöntemle planlanmıştır. Şehir haritasında şehirler arası her bağlantı uzunluk, güvenlik, yükseklik olmak üzere üç değerden oluşan bir vektörle temsil edilmektedir. Uçuş planlaması yapıldığı için, şehirler arası yolun yüksekliği de dikkate alınmakta ve üç boyutlu çizge ile çözüm yapılmaktadır.



Şekil 2. İntikal haritası

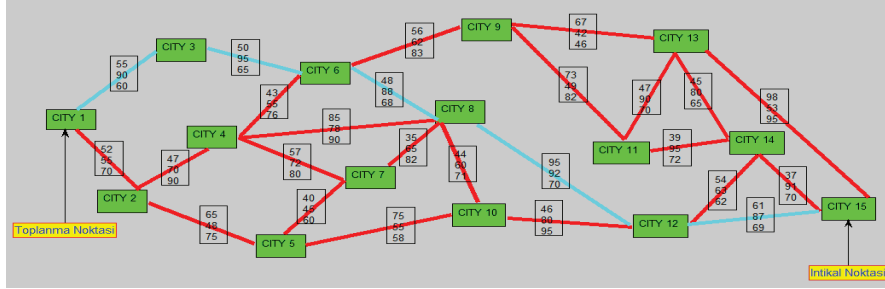
Burada geliştirilen evrimsel çözüm yöntemi başlangıç koşulları için intikali en kısa, en güvenilir, en düz yoldan planlamaktadır. Problem uzunluk, yükseklik ve güvenlik koşullarını kısıt olarak değerlendirildiğinden yüksek kısıtlı

optimizasyon problemidir. Dinamik sistemin başlangıç durumu için ürettiği intikal planı Şekil 3'de gösterilmiştir.



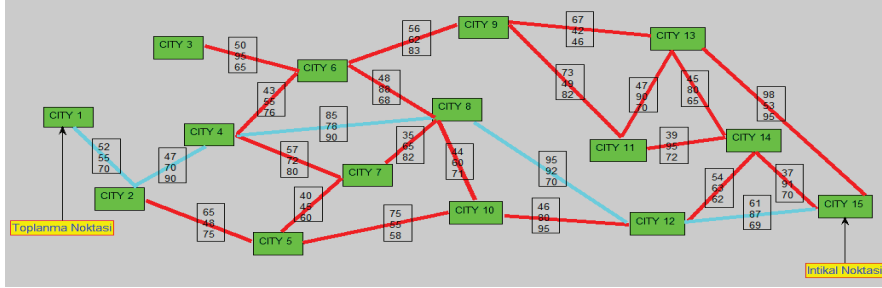
Şekil 3. Başlangıç durumu intikal planı

Sistem bu durumda çözüm üretirken dinamik olarak City 8 – City 9 ve City 8 – City 11 arasındaki bağlantılar koptuğunda algoritmanın önerdiği yeni intikal planı Şekil 4'de gösterilmiştir. Algoritma hem güvenlik, hem uzunluk hem de uçuş yüksekliği koşullarını dikkate almakta ve en güvenilir, en kısa, en düz uçuşu planlamaktadır.



Şekil 4. Dinamik intikal planına örnek

Sistem bu durumda çözüm üretirken dinamik olarak City 1 – City 3 arasındaki bağlantı da koptuğunda algoritmanın önerdiği yeni intikal planı Şekil 5'de gösterilmiştir. Algoritma City 8 üzerinden geçilerek, düz ve güvenilir bir yoldan intikal planı önermektedir. City 4 – City 8 arası bağlantı güvenlik değeri ve uzunluk açısından uygun bir yol olduğu için City 4 – City 6 – City 8 dolaşımı yerine City 4 – City 8 bağlantısı rotada önerilmektedir. Sistem şartlar dinamik olarak değiştiğinde çözüme baştan başlamadan çözüme yakınsamaktadır, diğer analitik yaklaşımlar şartların değişiminde çözüm için kullandıkları matris değiştiğinden tüm hesapları tekrarlamaktadır. Bu özellik geliştirilen algoritmanın önemli bir yeniliğidir. Evrimsel yöntemler probleme özgü amaç fonksiyonu ve üretim döngüsü operatörlerini kullanarak dinamik ortamda sonuca yakınsama özelliğine sahiptir [11].



Şekil 5. Dinamik intikal planına başka bir örnek

Evrimsel yöntemin bireylerin uygunluğunu değerlendirmek için kullandığı amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

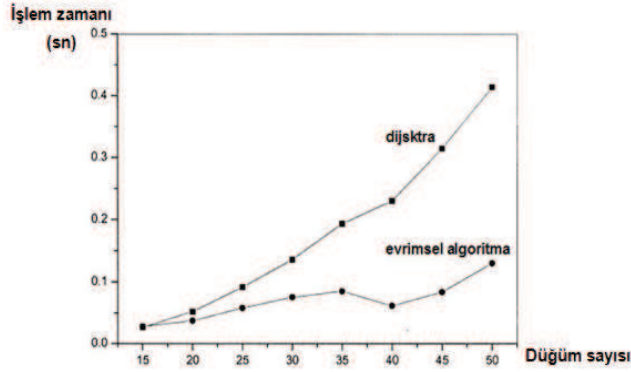
$$\text{Fitness (Individual)} = \left[\sum \left(\frac{1}{\text{distance}} + \frac{1}{(100 - \text{security})} + \frac{1}{\text{height_difference}} \right) \right] / \text{(number of segments)} \quad (1)$$

Bireye ait kromozomun uygunluk değeri rotayı oluşturan her bağlantının uzunluk, güvenlik ve önceki bağlantıya göre yükseklik farkı değerleri kullanılarak bulunur ve bu değer rotayı oluşturan bağlantı sayısına bölünür. İlk bağlantı için yükseklik farkı dikkate alınmaz.

Klasik optimizasyon teknikleri ile güvenlik ve uzunluk gibi yolun maliyetini etkileyen kısıtların çözüme etkisi modellenilebilir. Fakat savaş senaryosu gibi dinamik bir çevrede her değişimde çözüme yeniden başlanması işlem karmaşıklığını arttıracığından klasik teknikler uygun değildir. Ayrıca çizgeye yeni düğümlerin ve bağlantıların eklenmesi veya çıkarılması durumunda bu algoritmalar çözüme baştan başlayacağı için kullanışsız hale gelmektedir [12,13]. Geliştirilen algoritma başlangıç ve hedef düğümleri arasında parçalı intikal yapabilmekte, büyük bir intikali küçük alt parçalara ayırarak planlayabilmektedir. Karmaşık ve yoğun bir çizge yapısı için, özellikle bağlantı sayısı fazla ise ve üzerinden geçilmesi gereken bazı ara noktalar biliniyorsa tek bir intikal planı yerine parçalı intikal yapılması daha uygundur.

Kısıtlar değiştiğinde önceki çözümün bir parçasının aynen korunacağı her zaman garanti edilemeyebilir. Sistemde eş zamanlı olarak birden fazla değişiklik aynı anda gerçekleşebileceğinden geliştirilen algoritmanın asıl kazanımı yeni duruma göre uygunluğu yüksek çıkan bireylerin topluma yayılmasını sağlamaktır [14]. Evrimsel algoritmalar intikal probleminin durağan senaryolarında işlem sayısını azaltmaz, bu nedenle statik intikal senaryoları için fazla tercih edilmezler. Fakat intikal senaryosu dinamik ve çizgedeki bağlantıların maliyetini belirleyen kısıtlar değişken olduğu durumda evrimsel yöntemler çözüme baştan başlamadan en iyiye yakınsama özelliğine sahiptir. Askeri intikal, görev kritik bir problem olduğu için gerçek zamanlı bir sistem olarak düşünülebilir, savaş senaryosu gibi kısıtların değiştiği ortamlarda en iyi çözüme kabul edilebilir bir sürede yakınsanması amaçlanmıştır. Bu süre çizgenin boyutuna ve çizgedeki düğüm kenar sayısına göre değişmektedir. Algoritmanın hesap süresi performansı Dijkstra algoritması ile karşılaştırılmalı

olarak ölçülmüştür. Çizge yapısında bağlantı eklenmesi, bağlantı kopması veya bağlantı maliyetlerinin değişmesi durumlarında, evrimsel yöntem çözüme en baştan başlamadığı için Dijkstra algoritmasına göre daha kısa sürede çözüm üretebilmektedir. Çizgedeki düğüm sayısı arttığında aday çözüm ve birey sayısı artacağından evrimsel algoritmanın çözüme yakınsama süresi doğal olarak artmaktadır.



Şekil 6. Algoritmanın işlem zamanı

4. SONUÇ

Yol planlama, iki nokta arası çarpışmaya yol açmayacak, güvenilir bir yolun hesabını gerektiren bir optimizasyon problemidir. Yol planlama probleminin çözümünde Floyd, Dijkstra gibi karmaşıklığı belirli, analitik algoritmalar veya A-Star, Neural Network benzeri yaklaşımlar kullanılabilir. Fakat yol üzerindeki her düğüm noktasının aynı değerde olmadığı durumlar olabilir. Belirli düğüm noktalarına trafik yoğunluğundan dolayı ceza uygulanabileceği gibi, belirli bağlantılar emniyet açısından kullanılmak istenmeyebilir. Ayrıca yol üzerinde dinamik olarak bazı bağlantılar kopabilir. Bu durumda çizge ve bağlantılar değişeceğinden, problem verileri yenilenmiş haliyle tekrar çözülmek durumundadır. Dinamik optimizasyon probleminin verileri ve girdileri zamanla değiştiğinden, her seferinde yeni bir matris ile çözüme baştan başlamak yerine, bu çalışmada olduğu gibi, sezgisel algoritmanın üretim döngüsü ve amaç fonksiyonu kullanılarak bir önceki nesildeki çözüme yakın bireylerin seçimiyle daha iyi çözümler üretilebilir.

Bu çalışmada, yukarıda anlatılan sezgisel yaklaşım, askeri senaryolar dahilindeki en güvenli en kısa yol problemlerinin çözülmesinde kullanılmıştır. Bilgi tabanlı sezgisel çaprazlama, mutasyon, arıtma ve silme operatörleri özel olarak tasarlanmıştır. Statik ve dinamik ortamlar için simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, geliştirilen genetik algoritmanın gelişmiş arama hızı, kalitesi ve esneklik sağladığını göstermiştir.

KAYNAKÇA

- [1] C. Hocaoglu and A. C. Sanderson, (1996), "Planning multi-paths using speciation in genetic algorithms", *IEEE Int. Conf. Evolutionary Computation*, , Nagoya, Japan.
- [2] X. Hue, (1997), "Genetic algorithms for optimization: Background and applications", *Edinburgh Parallel Computing Centre, Univ. Edinburgh, Edinburgh, Scotland*.
- [3] Branke J., Salihoglu E., Uyar S., (2005), "Towards an Analysis of Dynamic Environments", *GECCO 2005: Genetic and Evolutionary Computation Conference, ACM Press*.
- [4] Elshamli A., Hussein A., Areibi S., (2004), "Genetic Algorithm for Dynamic Path Planning", *Proc. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. pp. 677-80.
- [5] Eiben A. E., Smith J. E., (2003), *Introduction to Evolutionary Computing*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- [6] O. Khatib, (1986), "Real-time obstacles avoidance for manipulators and mobile robots", *Int. J. Robot. Res.*, vol. 5, pp. 90–98.
- [7] T. Back, D. B. Fogel, and Z. Michalewicz, (1997), *Handbook of Evolutionary Computation*, Oxford Univ. Press, London, U.K.
- [8] G. Harik, E. Cantu-Paz, D. E. Goldberg, and B. L. Miller, (1999), "The Gambler's ruin problem, genetic algorithms, and the sizing of populations", *Evol. Comput.*, vol. 7, no. 3, pp. 231–253.
- [9] Ahn CH, Ramakhrisna R.S, (2002), "A Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations", *IEEE Trans Evolutionary Computation*, Vol.6, No.6, 566-579.
- [10] Wu W, Ruan Q, (2004), "A Gene-Constrained Genetic Algorithm for Solving Shortest Path", *IEEE ICSP'04 Proceedings*, 2510-2513.
- [11] Uyar A. S., Harmanci A. E., (2002), "Preserving Diversity Through Diploidy and Meiosis for Improved Genetic Algorithm Performance in Dynamic Environments", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2457, pp.314-323, Springer.
- [12] Hatzakis I., Wallace D., (2006), "Dynamic Multi-Objective Optimization with Evolutionary Algorithms: A Forward-Looking Approach", *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'2006)*, ACM Press.
- [13] Bosman, P. A. N, (2005), "Learning, Anticipation and Time-Deception in Evolutionary Online Dynamic Optimization", *GECCO-2005 Workshop on Evolutionary Algorithms for Dynamic Optimization*, Washington DC.
- [14] Morrison, R. W., (2004), "Designing Evolutionary Algorithms for Dynamic Environments", *Springer-Verlag, Berlin*.