

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ ROTA OPTİMİZASYONU

Muharrem Selim CAN¹ ve Pinar ÇİVİCİOĞLU²
Erciyes Üniversitesi/Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Kayseri

ÖZET

İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanımı teknolojinin gelişimine paralel olarak artmaktadır. İHA'lar askeri, ticari, fotoğrafçılık, kargo taşımacılığı gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İHA'ların kullanım alanının gelişmesine paralel olarak İHA'ların otomatik sistemlere olan ihtiyacı da artmaktadır. İHA'ların çalışmasında en çok ihtiyaç duyulan konulardan biri rota planlamasıdır. Rota planlaması yapılırken çevresel koşullar, yakıt, zaman, hava durumu gibi kısıtlamalar belirlenerek en uygun rotaların çıkarılması yapılır. Bu çalışmada, belirli sayıda hedef ve tehlikeli bölge olan bir alanda hedeflerin hangi sırayla ziyaret edileceği genetik algoritma ile belirlendikten sonra en uygun rota, hava durumu, mesafe ve tehlikeli bölgeden kaçınma kısıtlamaları göz önünde bulundurularak, Ardışık Karesel Programlama (AP) yöntemi ve Geri-İzleme Arama Algoritması (Backtracking Search Algorithm-BSA) ile hesaplanmış ve bu iki yöntemin karşılaştırması yapılmıştır.

GİRİŞ

Askeri veya sivil hayatımızda İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanımının gittikçe artmasıyla İHA'lardan beklentiler de artmaktadır. Her geçen gün araştırmacılar İHA'ların daha çok otomatik sistemlerle beşeri faktörlerden bağımsız uçabilmesi ve görevini yerine getirebilmesi için uğraşmaktadır. İHA'ların otomatikleşmesi ve operatör yardımı gerektirmeksizin görevini tamamlaması için yapay zeka metodlarından yararlanılmaktadır. İHA'lar askeri amaçlı keşif, gözlem, güvenlik, sınır güvenliği gibi alanlarda sivil amaçlı fotoğrafçılık, enerji hattı güvenliği gibi alanlarda kullanılmaktadır [Chen, H., Wang, X-M., Li, Y., 2009].

Sabit radar bölgeleri İHA'lar için tehlikelidir. Bu sebeple İHA'ların radar bölgelerine yaklaşmadan etrafından dolaşarak görevini yerine getirmesi için rota planlaması yapılır. Optimum rotanın bulunması bir İHA için en kritik karar verme mekanizmalarındandır. En uygun rota çıkarılırken birçok doğrusal ve doğrusal olmayan kısıtlamalar optimize edilmelidir. Bu çalışmada en iyi rotanın belirlenmesi için Ardışık Karesel Programlama (AP) ve Geri-İzleme Arama Algoritması (Backtracking Search Algorithm-BSA) kullanılmıştır.

HEDEF NOKTALARIN ZİYARET EDİLME SIRASININ BELİRLENMESİ

İHA'nın uçuş rotasını belirlerken çeşitli kısıtlamalar göz önüne alınır. İHA, belirli noktaları ziyaret etmesi gereken Gezgin Satıcı Problemi'ne benzetilebilir. Gezgin Satıcı Probleminin çözümünde hedeflere ulaşma maliyeti sadece mesafe kısıtı dikkate alınarak sonuca gidilir. Gezgin Satıcı Problemi'nde her bir şehir bir kez ziyaret edilmelidir ve başlangıç noktasından bütün şehirleri ziyaret edip tekrar başlangıç noktasına dönen en kısa mesafe bulunmaya çalışılır [Lawler, E.L., Lenstra JK., Rinnooy Kan AHG., Shmoys DB., 1985]. İHA'nın görevini minimum enerji harcarak yerine getirmesi, gidilen mesafe kadar çevresel şartlara da bağlıdır. Bu çevresel kısıtlamalardan biri rüzgârdır. Görev bölgesinin rüzgâr haritası önceden belli olan senaryolar üzerinden yol planlaması yapılır. Literatürde, rüzgarın uçağın rotasına olan etkisi ile ilgili [Jardin M.R. Bryson A.E 2001 ve Bijlsma, S.J., 2009] ve uçuş süresinin minimizasyonu ile ilgili [Schopferer, S., Pfeifer, T. 2015] rota planlaması yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

¹ Araştırma Görevlisi, Uçak Elektrik Elektronik Bölümü, E-posta: muharremcan@erciyes.edu.tr

² Prof. Dr., Uçak Elektrik Elektronik Bölümü, E-posta: civici@erciyes.edu.tr

Bu çalışmada kısıtlamalar rüzgâr şiddeti ve yönü, mesafe ve tehlikeli bölgeden kaçınma olarak belirlenmiştir. Bu üç kısıtlamaya göre belirlenen rota, hedeflerin eksiksiz ziyaret edilmesi koşulu ile optimum yakıt tüketimi sağlayacaktır. Kısıtlamaların minimizasyonu için AP ve BSA yöntemleri kullanılmıştır.

Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA), optimizasyon problemlerinin çözümünde sıkça kullanılan popülasyon tabanlı sezgisel bir algoritmadır. Bu çalışmada İHA'nın hedefleri hangi sırayla ziyaret edeceği genetik algoritma ile bulunmuştur. Ziyaret sıralamasının belirlenmesi gezgin satıcı problemindeki satıcının her şehre bir kere uğrayarak en kısa turun bulunması gibi düşünülmüştür. Bu sıralamadaki her bir nokta İHA'nın ziyaret etmesi gereken hedef noktalarıdır [https://www.mathworks.com/matlabcentral, 2009].

Ardışık Karesel Programlama (AP)

İki kere türevi alınabilir sürekli amaç fonksiyonuna sahip doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılır. Bu yöntem aynı zamanda döngüsel bir yöntemdir ve verilen amaç fonksiyonuna zamanla yakınsar. Genel olarak bir doğrusal olmayan amaç fonksiyonu için lagrangian denklemi aşağıdaki gibidir;

$$\mathcal{L}(x, \lambda, \sigma) = f(x) - \lambda^T g(x) - \sigma^T h(x) \quad (1)$$

$$\min f(x_k) + \nabla f(x_k)^T d + \frac{1}{2} d^T \nabla_{xx}^2 \mathcal{L}(x_k, \lambda_k, \sigma_k) \quad (2)$$

Denklem (1)'de λ ve σ lagrangian çarpanlarıdır. Her x_k iterasyonunda d_k yönünde kuadratik problemi çözmeye çalışır. Denklem (3)'te f amaç fonksiyonu üç farklı kısıtlamayla birlikte gösterilmiştir. Rüzgâr, tehlikeli bölge ve mesafe kısıtlamaları aynı anda minimize edilerek en uygun rota planlaması yapılır. Bu rota planlaması bütün hedefler için ayrı ayrı yapılır ve hedefler arası maliyet matrisi elde edilir.

$$f = \omega_1 * M_m + \omega_2 M_r + \omega_3 M_t \quad (3)$$

Denklem (3)'te M_m mesafe maliyeti, M_r rüzgar maliyeti ve M_t tehlikeli bölge maliyetidir. $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ kullanıcı tarafından belirlenen sabit katsayılarıdır. Üç maliyetin birleşiminden toplam maliyet yani amaç fonksiyonu elde edilir. İHA'nın rota planlamasında birden çok kısıtın birleşiminden maliyet fonksiyonu formüle edilir.

GERİ-İZLEME ARAMA ALGORİTMASI (BSA)

BSA son zamanlarda çok kullanılan global minimizasyon algoritmalarından biridir. BSA bir başlangıç popülasyonu oluşturur ve döngüsel bir yöntem kullanır. Başlama, Seleksiyon-I, Mutasyon, Çaprazlama ve Seleksiyon-II olmak üzere beş fonksiyondan oluşur [Civicioglu, P., 2013].

Başlama

BSA'da başlangıç popülasyonu aşağıdaki formülle üretilir:

$$Pop_{i,j} \sim U(low_i, up_j) \quad (4)$$

Bu denklemde $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ve $j = 1, 2, 3, \dots, D$ 'dir ve N popülasyon büyüklüğünü ve D ise problem boyutunu ifade eder. U düzgün (uniform) dağılımlı rastgele sayı üretim fonksiyonudur.

Seleksiyon-I

Arama doğrultusunun bulunması için gereken eski popülasyonun belirlenmesi burada yapılır. Buradaki $\Rightarrow$ güncelleme operatörüdür. Bu eşitliğe göre BSA'nın hafızası vardır.

$$if a < b, oldPop := Pop|a, b \sim U(0,1) \quad (5)$$

Mutasyon

BSA algoritmasının mutasyon için kullandığı denklem (.) gösterilmektedir. Deneme popülasyonu *Mutant*'in ilk üretildiği yer burasıdır. Burada F arama yönünün (*oldP* – *P*) genliğini belirler.

$$MutantPop = P + F \cdot (oldPop - Pop) \quad (6)$$

Çaprazlama

Deneme popülasyonunun son hali T bu kısımda üretilir. Deneme popülasyonundaki daha iyi uygunluk değerine sahip bireyler hedef popülasyonun gelişim geçirmesi için kullanılır. BSA çaprazlama süreci iki aşamalıdır. İlk olarak iki değere sahip ve boyutu $N \cdot D$ olan bir harita matrisi üretilir. Bu matris deneme popülasyonu içinde hangi bireylerin değiştirileceğine karar vermek için kullanılır.

Seleksiyon-II

P_i 'lerden daha iyi uygunluk değerine sahip T_i 'ler kullanılarak P_i 'ler güncellenir. P popülasyonunun en iyi bireyi P_{best} global minimumdan daha iyi bir değere sahipse en iyi çözüm (*globalminimizer*) P_{best} olarak güncellenir.

Mesafe Kısıtı: İHA'nın bir noktadan bir noktaya giderken en kısa mesafeyi kullanarak gitmesi istenmektedir. İki nokta arasındaki mesafe hesaplanır ve maliyet fonksiyonuna eklenir. Denklem (7)'de İHA'nın i noktasından j noktasına giderken kat ettiği mesafe hesaplanmıştır.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (7)$$

$$M_m = d_{ij} \quad (8)$$

Rüzgar Kısıtı: Rüzgarın şiddeti ve yönü uçağın daha çok yakıt tüketmesine sebep olmaktadır (Rubio J.C., Kragelund, S., 2003). Rota planlaması yapılırken rüzgarı karşıdan alan rotalar yerine kuyruktan alacak şekilde bir optimizasyon yapılır. Denklem (9-10)'da $x_{u,n}$ ve $y_{u,n}$ İHA'nın konumunu ve $x_{u,n+1}$, $y_{u,n+1}$ İHA'nın bir sonraki konumunun x, y bileşenini göstermektedir. Bu İHA konumları kullanılarak d_{ux} , d_{uy} yer değiştirmeleri bulunur. Denklem (11-12)'de $x_{r,n}$ ve $y_{r,n}$ rüzgâr vektörünün başlangıç noktasının x, y bileşenini ve $x_{r,n+1}$, $y_{r,n+1}$ rüzgâr vektörünün bitiş noktasının x ve y bileşenini göstermektedir. Uçağın hızına pozitif yönde veya negatif yönde etki eden rüzgârın x eksenindeki değişimi p_{rx} ve y eksenindeki değişimi p_{ry} olarak gösterilmiştir. D_{ru} , rüzgâr vektörü ile İHA'nın yer değiştirme vektörünün x, y yönündeki değişimlerinin çarpımını gösterir. Denklem (14)'de V_{ru} İHA'nın rotası boyunca rüzgârın hızını gösterir ve d_{ij} , i noktasından j noktasına uzaklıktır. Denklem (15)'te V_u İHA'nın rüzgâr etkisi eklenmiş hızını gösterir ve V_a , İHA'nın hava hızıdır. Denklem (16)'da rüzgâr maliyet fonksiyonu ifade edilmiştir [http://www.mathworks.com, 2013].

$$n = 1, 2, 3, \dots, 100 \quad (9)$$

$$d_{ux} = x_{u,n} - x_{u,n+1} \quad (10)$$

$$d_{uy} = y_{u,n} - y_{u,n+1} \quad (11)$$

$$p_{rx} = x_{r,n} - x_{r,n+1} \quad (12)$$

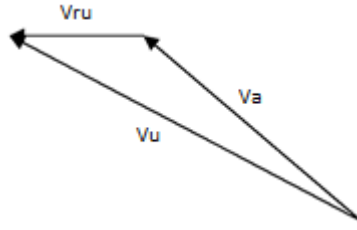
$$p_{ry} = y_{r,n} - y_{r,n+1} \quad (13)$$

$$D_{ru} = d_{ux} \cdot p_{rx} + d_{uy} \cdot p_{ry} \quad (14)$$

$$V_{ru} = \frac{D_{ru}}{d_{ij}} \quad (15)$$

$$V_u = V_a + V_{ru} \quad (16)$$

$$M_r = \frac{1}{V_a + V_{ru}} \quad (16)$$



Şekil 1: Rüzgârın uçağın hızına olan etkisi

Tehlikeli Bölge Kısıtı: Havacılıkta uçakların yakınından veya üstünden uymasının istenmediği bölgeler olabilmektedir. Bu bölgeler, radarların kapsadığı alanlar veya hava savunma sistemlerinin olduğu tehlikeli bölgeler olarak ifade edilir. Bu çalışmada tehlikeli bölgeler dairesel olarak modellenmiştir. Her daire kaçınılması gereken bir engel gibi düşünülmüş, tehlikeli bölgelerin önceden bilindiği ve sabit olduğu kabul edilmiştir. İHA'nın tehlikeli bölgeleri ihlal etmesi Denklem (18) ile tespit edilir. Denklem (17)'de, u_x, u_y İHA'nın konumunu, x_r, y_r ise tehlike bölgesinin merkezi konumunu göstermektedir. d_u İHA'nın tehlikeli bölgenin merkezine olan uzaklığıdır. Denklem (18)'de r tehlikeli bölgenin yarıçapını göstermektedir.

$$d_u = \sqrt{(u_x - x_r)^2 + (u_y - y_r)^2} \quad (17)$$

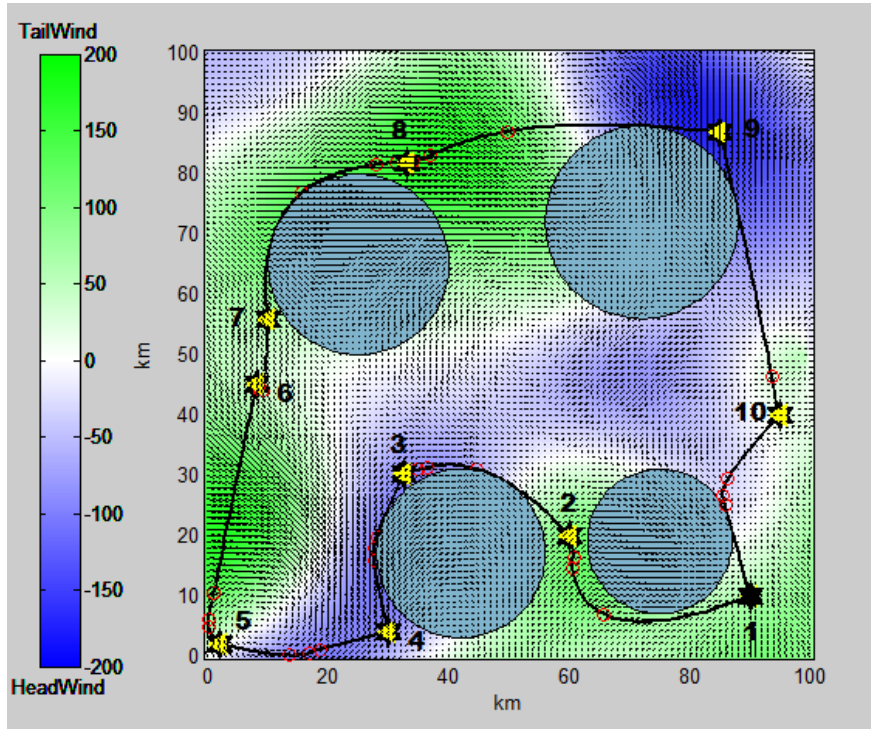
$$M_t(d_u) = \begin{cases} 1 - \frac{d_u}{r}, & d_u < r \\ 0, & d_u \geq r \end{cases} \quad (18)$$

UYGULAMALAR

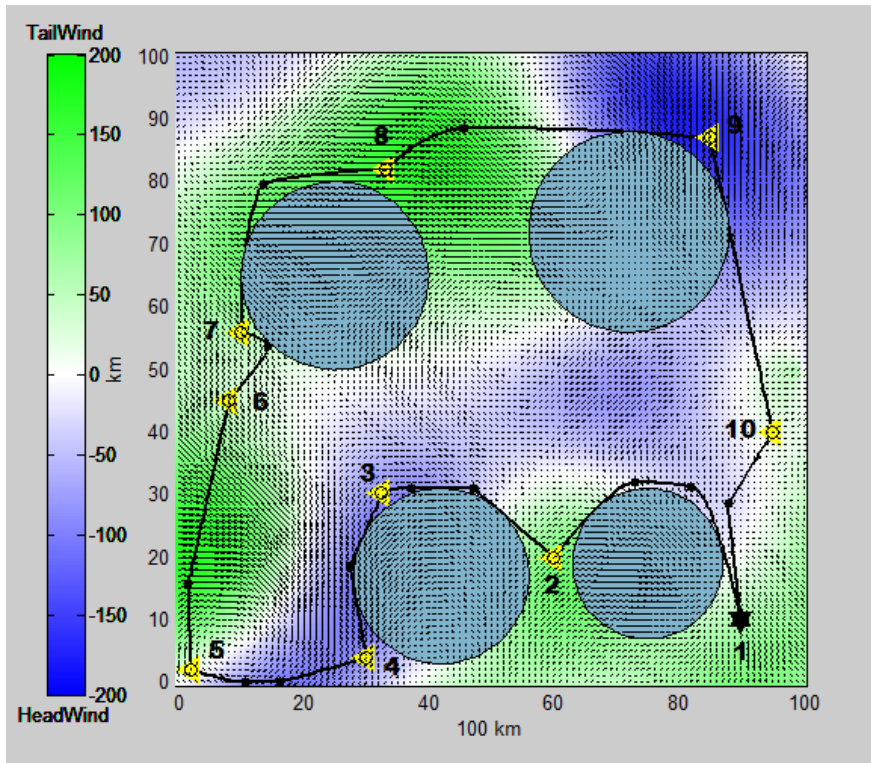
Uygulamalarda 10 hedefli tehlikeli bölgenin sabit olduğu senaryo üzerinde çalıştırılmıştır. Modelleme için Matlab programlama dili kullanılmış, uygulamalar 100km x100km'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de İHA'nın görevi sırasında ziyaret etmesi gereken hedef noktaları ve bu noktaları en az maliyetle hangi sırayla hangi rotayla takip etmesi gerektiği bulunmuştur. Görev başlangıç ve bitiş noktası 8 numaralı noktadır. İHA'nın hedefleri ziyaret etme sıralaması genetik algoritma kullanılarak 8-6-4-5-3-2-1-9-7-10-8 olarak bulunmuştur. Tablo 1'den görüldüğü gibi 1, 2, 3, 6, 8, 9 ve 10 numaralı rotalarda BSA kullanılarak elde edilen sonuçlar AP kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha başarılı olarak daha az maliyetli rotayı bulmuştur. 4, 5, 7 numaralı rotalarda ise AP kullanılarak elde edilen sonuçlar BSA kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha başarılı olarak daha az maliyetli rotayı bulmuştur.

Tablo 1: En az maliyetli rotanın bulunmasında AP ve BSA kullanılarak elde edilen sonuçlar

Hedef Sırası	Rota	AP	BSA
1	1→2	256.7730	252.0134
2	2→3	207.0102	203.3651
3	3→4	180.3786	179.5905
4	4→5	195.7994	195.2169
5	5→6	222.1172	225.8255
6	6→7	201.6760	191.0073
7	7→8	218.3707	223.5657
8	8→9	229.4802	228.4583
9	9→10	251.1069	255.2044
10	10→1	220.5090	220.0907



Şekil 2: BSA kullanılarak 10 hedefli rota planlaması



Şekil 3: AP kullanılarak 10 hedefli rota planlaması

SONUÇ

Bu çalışmada İHA'lar için çevresel kısıtlamalara göre en iyi rotaların optimizasyonu yapılarak rüzgâr, tehlikeli bölge ve yakıt kısıtlamalarına göre en kısa mesafe bulunmuştur. Şekil 2ve 3'ten görüleceği gibi rüzgârı karşıdan alan rotalar yerine arkadan alacak rotalar tercih edilmiş ve bu

rotalar izlenirken tehlikeli bölgelerden kaçınılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre İHA, tehlikeli bölgeleri ihlal etmeden rotasını izlemiştir. Kullanılan optimizasyon algoritmalarından BSA, toplamda 7 rotada AP'den daha başarılı sonuçlar vererek daha az maliyetli rotayı bulurken AP, toplamda 3 rotada BSA'dan daha başarılı sonuçlar vererek daha az maliyetli rotayı bulabilmiştir.

Kaynaklar

- Bijlsma, S. J., 2009. *Optimal aircraft routing in general wind fields*. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 32(3), 1025-1029.
- Bryson, A. E., Jardin, M. R., 2001. *Neighboring optimal aircraft guidance in winds*. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 24(4), 710-715.
- Chen, H., Wang, X. M., Li, Y., 2009. *A survey of autonomous control for UAV*. IEEE Proceedings Artificial Intelligence and Computational Intelligence. Vol. 2, pp. 267-271, Shanghai , 7-8 November.
- Civicioglu, P., 2013. *Backtracking search optimization algorithm for numerical optimization problems*. Applied Mathematics and Computation, 219(15), 8121-8144.
- Cui, C., Wang, N., Chen, J., 2014. *Improved ant colony optimization algorithm for UAV path planning*. 5th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science, pp. 291-295. Beijing , 27-29 June.
- Kirk, J., 2009. Traveling Salesman Problem – Genetic Algorithm, Matlab Central, <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13680-traveling-salesman-problem-genetic-algorithm> [08.03.2016 tarihinde erişilmiştir].
- Kragelund, S., Rubio J. C., 2003. *The trans-pacific crossing: long range adaptive path planning for UAVs through variable wind fields*. The 22nd IEEE Digital Avionics Systems Conference, Vol. 2, pp. 8-B, October.
- Labonté, G., Roberge, V., Tarbouchi, M., 2013. *Comparison of parallel genetic algorithm and particle swarm optimization for real-time UAV path planning*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, , 9(1), 132-141.
- Lawler E.L., Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., Shmoys DB. 1985. *Travelling Salesman problem* John Wiley & Sons, 1985 - 473 sayfa
- Schopferer, S., Pfeifer, T. 2015. *Performance-aware flight path planning for unmanned aircraft in uniform wind fields*. IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems, pp. 1138-1147, June.
- MathWorks, April 2013. <http://www.mathworks.com/videos/finding-optimal-path-using-optimization-toolbox-68958.html> [12.04.2016 tarihinde erişilmiştir].