

# İHA'ların İletişim için Optimal Konumlandırılması

## Optimal Deployment of UAV's for Communication

Ayça Hazel KULAÇ ve Alper AKARSU

Elektrik Elektronik Mühendisliği  
TOBB ETÜ

Ankara, Türkiye

ayca.kulac@gmail.com, aakarsu@havelan.com.tr

Tolga GİRİCİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği  
TOBB ETÜ

Ankara, Türkiye

tgirici@gmail.com

**Özetçe**— İnsansız hava araçlarının (İHA), geniş bant iletişimde baz istasyonu olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Baz istasyonu olarak kullanılan İHA'ların konumlarının eniyilenmesi uygulamanın başarımında önemli bir faktördür. Daha önce bu hesaplama için parçacık sürü optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. Bu bildiriye ek olarak Taguchi metodu da denenmiştir. Sonuç olarak Taguchi metodunun da TM en iyi konumlandırma için uygun bir yöntem olabileceği değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — İHA; baz istasyonu; konum; PSO; Taguchi.

**Abstract**— Unmanned air vehicles (UAV) have been widely used in the telecommunication area. Using them as base stations is one of the applications. Optimizing the position of the UAVs is the important factor in the performance of the application. Previously, particle swarm optimization(PSO) has been used for the optimization. In this paper, a new method called Taguchi method is also considered. As a result Taguchi method is seen to bring some advantages.

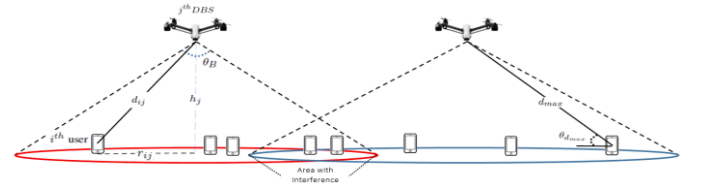
**Keywords** — UAV; base station; deployment; PSO; Taguchi.

### I. GİRİŞ

Günümüzde insansız hava araçları(İHA) çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar sınır izlemekten afet yönetimine kadar çok geniş bir alanda yer almaktadır. Yapılan araştırmalardan da gelecekte daha fazla alanda kullanılacağı gözlemlenmiştir. Bu alanlardan biri de İHA'nın baz istasyonu olarak kullanılıp kablosuz iletişime destek sağlamasıdır. Bu konuyla ilgili yayın sayısında bir artış gözlemlenmiştir. [1] de birden fazla İHA'nın baz istasyonu olarak kullanılırken nasıl konumlandırılacağından bahsedilmiştir. Bu makalede kullanılacak olan İHA ların 3 boyutlu konumu parçacık sürü optimizasyonu(PSO) ile bulunmuştur. Ancak PSO'nun performansı konumların sezgisel tanımlarına bağlıdır. Bu bağılılığı kaldırmak için bu bildiriye Taguchi metodu(TM) önerilmiştir. TM çok çeşitli alanlarda kullanılan bir metottur[2]-[6]. Telekomünikasyon alanında iletişim ağı parametrelerinin optimizasyonunda kullanılmaktadır[7]-[8]. Baz istasyonu olarak kullanılan İHA ların konumlarının hesaplanması için ilk defa bu bildiriye kullanılmıştır. TM de İHA ların optimum konumları dik diziler kullanılarak hesaplanmıştır. Dik diziler, optimizasyonu başlangıç girdilerinden ve konumların sezgisel tanımlarından

bağımsız hale getirmiştir. Bu bildiriye ilk önce sistem modeli anlatılıp ardından PSO ve TM algoritmalarıyla ilgili detaylar verilecektir. Kullanılan benzetim ortamı ve sonuçlarla bildiri tamamlanacaktır.

### II. SİSTEM MODELİ



Şekil 1 – İki İHA Bulunan Sistem

Yer bağı iletişimi İHA lardan hücreyel kullanıcılarına olacaktır. Buradaki kayıpları modellerken (1) denklemini kullanılacaktır.

$$\overline{PL}_{Lj} = PL_{LOS}^{ij} P_{LOS}(h_j, r_{ij}) + PL_{NLOS}^{ij} (1 - P_{LOS}(h_j, r_{ij})) \quad (1)$$

Burada  $P_{LOS}(h_j, r_{ij})$  LoS yol kaybı,  $P_{LOS}(h_j, r_{ij})$  LoS olasılığıdır. Her kullanıcı sadece 1 tane İHA ya bağlanacaktır. i inci kullanıcının hangi İHA ya bağlı olduğu  $\alpha_i$  ile gösterilmiştir.

$$\alpha_i = \arg \max_j R_{ij}(x_j, y_j, h_j) \quad (2)$$

Denklem (2) de  $R_{ij}$  i nci kullanıcının j ninci İHADan aldığı sinyalin gücüdür.

$$R_{ij}(x_j, y_j, h_j) = 10^{\frac{P_T + G_{ij} - \overline{PL}_{Lj}}{10}} \quad (3)$$

W kanal bant genişliği,  $P_T$  gönderilen güç(dB),  $G_{ij}$  ise İHA anten kazancıdır. Burada ideal bir yönlü anten varsayımı yapılmıştır.

$$G_{ij} = \begin{cases} \frac{2900}{\theta_B^2}, & r_{ij} \leq h_j \tan \frac{\theta_B}{2} \\ 0, & r_{ij} > h_j \tan \frac{\theta_B}{2} \end{cases} \quad (4)$$

$\theta_B$  İHA anteninın yarım güç hüzmeye genişliğidir. Bir İHA ya bağlanan kullanıcı sayısı  $U_j(x, y, h)$  tır.

$$U_j(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{h}) = \sum_{i \in U} I(\alpha_i = j), \forall j \in U \quad (5)$$

I kullanıcının İHA ya bağlı olup olmamasına göre  $\{0,1\}$  değerlerini alır.

$$I(\alpha_i = j) = \begin{cases} 1, & \alpha_i = j \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (6)$$

İHA ların konumunu optimize etmek için (7) denklemi kullanılmıştır. Bu ölçüt, kullanıcı veri hızlarının logaritmalarının toplamıdır ve oransal adillik sağlar. İHA'ya kaç kullanıcı bağlanmışsa bant genişliği o kadar kullanıcı arasında eşit paylaşılır.

$$\max_{x,y,h} \sum_{i \in U} \log \left( \frac{1}{U_{\alpha_i}} W \log_2 \left( 1 + \frac{R_{i\alpha_i}(x_{\alpha_i}, y_{\alpha_i}, h_{\alpha_i})}{N_o W + \sum_{j \neq \alpha_i} R_{ij}(x_j, y_j, h_j)} \right) \right) \quad (7)$$

$$\sqrt{x_j^2 + y_j^2} \leq R_{max}, h_{min} \leq h_j \leq h_{max} \forall j \in D \quad (8)$$

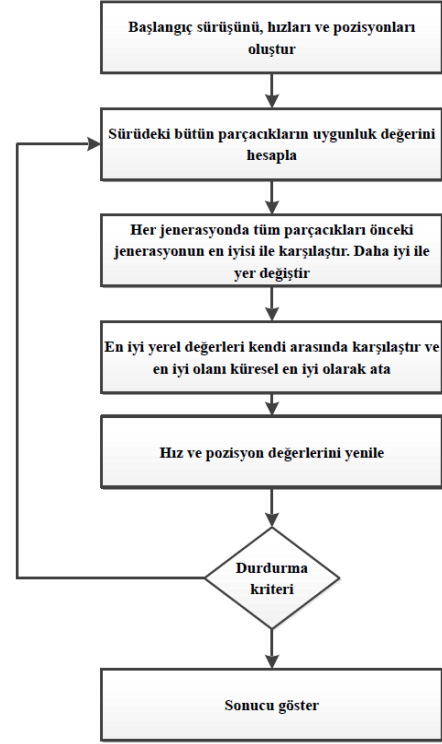
Denklem (8)'de ise İHA'ların yatay düzlemde ve dikey ekseninde konumları için bazı sınırlamalar yapılmıştır.

### III. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Denklem (7) ile tanımlanan optimizasyon problemi iç bükey olmayan bir problem olduğundan bunun çözümü için [1] de PSO kullanılmıştır. Parçacık sürü optimizasyonu 1995 yılında J.Kennedy ve R.Eberhart tarafından tanımlanmıştır. PSO kuşların sürü davranışından ilham alınarak oluşturulmuştur. Algoritma, parçacık adı verilen rasgele çözümler üretir ve her iterasyonda parçacıkları uzayda hareket ettirerek çözümünü iyileştirir. Her iterasyon parçacıkların konumları en iyi çözümün elde edildiği konuma göre güncellenir. Buna küresel en iyi denir. Parçacığın en iyi çözümü ise yerel en iyi olarak adlandırılır. Algoritma her iterasyonda küresel en iyi ve konumunu, yerel en iyi ve konumlarını takip eder. Durdurma koşulu parçacıkların bir noktaya kümelenmesidir. PSO nun akış şeması Şekil 2 de verilmiştir.

### IV. TAGUCHI METODU

Belirli parametrelere bağlı bir sistem için optimum çözümün bulunmasında yardımcı bir algoritma kullanılmalıdır. Öbür türlü kaba kuvvetle yapılan çözümleri



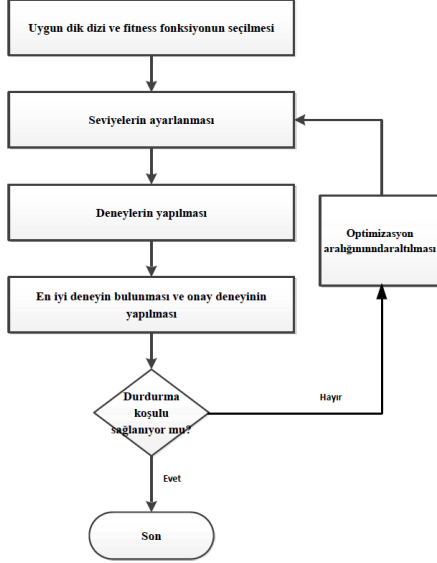
Şekil 2 – PSO Akış Şeması

takip etmesi zor ve zaman kaybettiricidir. Taguchi metodu, dik diziler kullanarak bu hesaplama yükünü azaltmıştır. Dik diziler  $OA(N, k, s, t)$  ile gösterilir.  $N$  deney sayısı,  $k$  parametre sayısı,  $s$  seviye sayısı ve  $t$  dik dizilerin ne kadar güçlü olduğunu gösterir. Dik dizilerin en önemli özelliği deney sayısını azaltmasıdır. Örneğin, 18 parametreden oluşan bir sistemde her parametre için 17 tane seviye var ise  $17^{18}$  tane deneyin çalıştırılması sonucu optimum değer bulunabilir.  $17^{18}$  tane deneyin yapılması hem zaman kaybettiricidir hem de deneyler detaylı olarak incelenip değerlendirilemez.  $OA(289,18,17,2)$  kullanıldığında sadece 289 tane deney yapılmaktadır. Diğer önemli özelliği ise bir OA parçalara ayrılarak farklı sayıda parametreler için kullanılabilir. Örneğin,  $OA(242,23,11,2)$  nin ilk 6 sütunu kullanılarak 6 parametrelili bir süreç için 242 deney yapılabilir. Taguchi metodunun akış şeması Şekil 3 te verilmiştir. Şemanın detayları aşağıda anlatılmıştır.

#### A. Uygun dik dizinin ve fitness fonksiyonun seçilmesi

OA ların seçiminde en önemli faktörler parametre ve seviye sayılarıdır. Kullanılan OA lar önceden oluşturulmuş veri setleri olduğu için seçenekler sınırlı sayıdadır[9].

Yapılacak olan optimizasyon için İHA sayısının 3 katı kadar parametre (x,y,h) gerekmektedir. Bu problem için hangi OA'nın kullanılacağı bildirinin devamında anlatılmıştır. Fitness fonksiyonun kullanım amacını uygun olarak yansıtmaması gerekmektedir. Bu bildiriye kullanılacak olan fonksiyon (7) de verilmiştir.



Şekil 3 – Taguchi Metodu Akış Şeması

### B. Seviyelerin ayarlanması

Deneylerin yapılabilmesi için OA değerlerinin parametrelerin sınırlarına ve OA'nın seviye sayısına uygun olacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu değerlerin nasıl hesaplanacağı aşağıda verilmiştir.  $V_c$ , seviyenin orta değeri ve LD ise iki seviye arasındaki değişim miktarıdır.

$$V_l = \begin{cases} V_c - \left(\left\lfloor \frac{s}{2} \right\rfloor - l\right) \cdot LD, & 1 \leq l \leq \left\lfloor \frac{s}{2} \right\rfloor - 1 \\ V_c, & l = \left\lfloor \frac{s}{2} \right\rfloor \\ V_c + \left(l - \left\lfloor \frac{s}{2} \right\rfloor\right) \cdot LD, & \left\lfloor \frac{s}{2} \right\rfloor + 1 \leq l \leq s \end{cases} \quad (9)$$

$$V_c = \frac{x_1^{maks} + x_1^{min}}{2} \quad (10)$$

$$LD_1 = \frac{x_1^{maks} - x_1^{min}}{s+1} \quad (11)$$

### C. Deneylerin yapılması

OA değerleri uygun bir şekilde düzenlendikten sonra deneyler için fitness değerleri hesaplanır. Bu fitness değerleri kullanılarak  $S/N$  hesaplanır.

$$S/N = 20 \log_{10}(Fitness) \quad (12)$$

### D. En iyi deneyin bulunması ve Onay deneyinin yapılması

İlk iterasyon sonucunda hesaplanan bütün  $S/N$  değerleri kullanılarak her seviyedeki parametreler için ortalama alınır.

$$\eta(l, n) = \frac{s}{N} \sum_{t|OA(t,n)=l} (S/N)_t \quad (13)$$

Örneğin, ilk parametrenin ilk seviyede olduğu bütün deneylerin  $S/N$  değerleri toplanır ve  $S/N$  ile çarpılır. Bu tepki tablosunun ilk elemanın oluşturur. Tepki tablosu  $s \times n$  lik bir tablodur. Bu işlem bütün parametreler ve seviyeler için tekrarlanarak tepki tablosu oluşturulur. Ardından her parametre için maksimum değerin olduğu seviye seçilir. Bu seviyeler her zaman OA'daki bir deneye denk gelmeyebilir. Bu yüzden seçilen seviyeler için fitness değeri hesaplanır. Bu fitness değeri bu iterasyonda elde edilen optimum sonuçtur.

### E. Optimizasyon aralığının daraltılması

Eğer durdurma koşulu sağlanmadıysa algoritma bir kez daha tekrarlanır. Bu tekrar sırasında seviye değerleri belirlenirken orta değer olarak bir önceki iterasyonda hesaplanan optimum seviye değerleri kullanılır ve seviye aralığı önceden belirlenen bir oran ile küçültülür. Böylece yeni iterasyonda daha küçük bir alanda tarama yapılmış olur.

$$LD_{i+1} = RR \cdot LD_i \quad (14)$$

RR değeri 0.5 ile 1 arasında olmalıdır.

### F. Durdurma Şartı

Durdurma şartı sağlanmadıkça algoritma tekrar edilir. Ancak bir süre sonra LD küçüldükçe iterasyon sonucu elde edilen  $V_c$  lerdeki değişim azalır. Durdurma koşulu olarak bir delta kullanılabilir.

$$\frac{LD_i}{LD_1} < \delta \quad (15)$$

## V. BENZETİM ORTAMI

### A. Benzetim Parametreleri

TABLO 1. BENZETİM PARAMETRELERİ

Parametre	Tanım	Değeri
$f_c$	Taşıyıcı frekansı	2GHz
$R_{max}$	Yarıçap	1500m
W	Bant aralığı	20MHz
U	Kullanıcı sayısı	100
$N_0$	Gürültü güç spectral yoğunluğu	-170dBm/Hz
$\alpha, \beta$	Çevresel parametreler	9.61, 0.16
$\eta_{LOS}, \eta_{NLOS}$	Ortalama kayıplar	1 dB, 20dB
$\theta_B$	İHA anten hüzme açıklığı	140°

$P_T$	İHA gönderilen güç	30dBm
$N_{par}$	Parçacık sayısı	242
$P_{conv}$	Parçacıkların kümelenmesi	$10^{-4}$
$h_{min}, h_{maks}$	Minimum, maksimum yüksekliği	200m, 800m
$L_{TH}$	Düşük data oran eşiği	500Kbps

Kullanıcıların konumları sabit yarıçaplı bir alanda homojen olarak dağılmışlardır. Kullanılan İHA ların konumlarının hesaplanması için TM ve PSO kullanılmıştır. TM ile PSO'nun karşılaştırılabilmesi için TM deki deney sayısı ile PSO daki parçacık sayısı aynı alınmıştır. Karşılaştırma yapmadan önce en uygun OA seçilmiştir. Ardından seçilen OA nın deney sayısına göre PSO algoritması çalıştırılmıştır.

### B. En Uygun Dik Dizinin Seçilmesi

Dik diziler belirli kurallara göre önceden hazırlanmış setlerdir. Hali hazırdaki OA lardan uygun parametre ve seviye sayısına sahip olanlar uygun OA için bir havuz oluştururlar. Bu havuz en az 3 en fazla 7 İHA için deney ortamı sunmaktadır. Bu havuzdan uygun olan OA yı seçmek için TM algoritması önceden hazırlanan kullanıcı konumları için çalıştırılmıştır. Deney sonuçlarında elde edilen fitness değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere en iyi fitness değerleri OA(242,23,11,2) de elde edilmiştir. PSO ile karşılaştırmak için bu OA ile yapılan benzetimler kullanılacaktır.

TABLO 2. FARKLI OA LARDA ELDE EDİLEN DEĞERLER

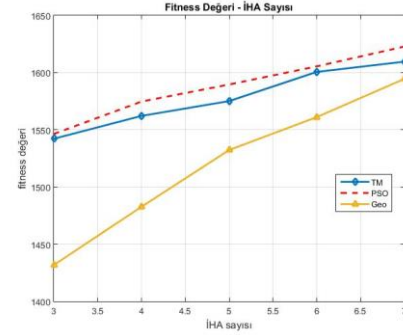
OA setleri	İHA sayısı				
	3	4	5	6	7
OA(4096,12,4,5)	1432.4	1492.1	x	x	x
OA(289,18,17,2)	1536.9	1548.1	1567.5	1583.6	x
OA(256,17,4,3)	1539.9	1532.5	1518.3	x	x
<b>OA(242,23,11,2)</b>	<b>1542.2</b>	<b>1562.1</b>	<b>1575.1</b>	<b>1600.6</b>	<b>1609.6</b>
OA(128,17,8,2)	1528.9	1557.2	1574.5	x	x
OA(81,10,9,2)	1540.4	x	x	x	x

## VI. BENZETİM SONUÇLARI

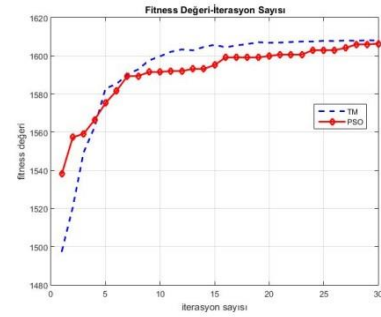
Kullanıcı senaryosu için 5 farklı konum seti kullanıldı. PSO ve TM nin performansını daha iyi açıklamak için İHA ların konumları geometrik olarak da hesaplandı. İHA ların konumları geometrik olarak hesaplanırken bir tanesi alanın merkezine konulup diğerleri de merkeze göre simetrik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Geo'da bütün İHA lar aynı yüksekliktedir. İHA ların konumlarına göre fitness değerleri hesaplanmıştır. TM ve PSO için aynı kullanıcı setleri çalıştırılmış ve sonuçların ortalaması Şekil 4 te verilmiştir. PSO ile TM nin çalışma süreleri aynı değildir. TM de 30 iterasyonda optimum konumlar hesaplanırken PSO da iterasyon sayısı 300 ü geçebilir. Ancak PSO ile TM aynı döngü sayısı ile çalışıldığında Şekil 5 te görüldüğü gibi performansları birbirlerine oldukça yakındır.

## VII. VARGILAR

İHA ların baz istasyonu olarak kullanılırken sistemin başarımının artmasında İHA ların konumları önemli bir yere sahiptir. Ancak bu konumların hesaplanması içbükey olmayan bir optimizasyon problemidir. Daha önceden bu problemin çözümü için PSO önerilmiştir. Bu çalışmada, PSO nun dezavantajlarını ortadan kaldırmak için TM önerilmiştir. TM ve PSO nun benzetimlerinin gerçek anlamda karşılaştırılabilmesi için benzetim parametreleri buna uygun olacak şekilde düzenlenmiştir. Belirli bir kullanıcı seti için iki



Şekil 4 –Fitness Değerinin İHA Sayısına Göre Değişimi



Şekil 5 – İterasyon Sayısına Bağlı Olarak TM ve PSO nun Performansları

metot çalıştırılmıştır. PSO her zaman TM den daha iyi sonuç vermektedir. Ancak TM nin başarımı PSO ya oldukça yakındır. Üstelik TM bu sonuçlara daha kısa sürede vardığı için hesaplama süresi kısalmıştır. Ayrıca TM kullanılarak PSO daki parçacıkların rasgele hareketinden de bağımsız hale gelmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Akarsu, A. and Girici, T., "Fairness Aware Multiple Drone Base Station Deployment," *IET Research Journal*, 2015.
- [2] Taguchi, G., "Taguchi Methods in LSI Fabrication Process," in *Proc. IEEE Int. Workshop Stat. Methodol.*, Jun. 2001, pp. 1-6.
- [3] Hwang, G.Y., Hwang, S.M., Lee, H.J., Kim, J.H., Hong, K.S. and Lee, W.Y., "Application of Taguchi Method to robust design of acoustic performance in IMT-2000 mobile phones," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, no. 5, pp. 1900–1903, May 2005.
- [4] Karnik, S.R., Raju, A.B. and Raviprakash, M.S. "Geneticalgorithm-based robust power system stabilizer design using Taguchi principle," in *Proc. 1st Int. Conf. Emerging Trends Eng. Technol.*, Jul. 2008, pp. 887–892.
- [5] Ikeda, H., Hanamoto, T., Tsuji, T. And Tomizuka, M. "Design of vibration suppression controller for 3-inertia systems using Taguchi method," in

*Proc. Int. Symp. Power Electron., Elect. Drives, Autom. Motion*, 2006, pp. 1045–1050.

- [6] Virga,K.L. and Engelhardt,R.J., “Efficient statistical analysis of microwave circuit performance using design of experiments,” *in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, Jun. 1993, vol. 1, pp. 123–126.
- [7] Awada,A., Wegmann,B., Viering, I. And Klein,A., “Optimizing the Radio Network Parameters of the Long Term Evolution System Using Taguchi’s Method,” *IEEE Transtactions on Vehicular Techonology*, 2011.
- [8] Nai,S.E., Zhongding,L., Wong,S.H. and Yong,H.C.,“Optimizing Radio Network Parameters for Vertical Sectorization via Taguchi’s Method”, *IEEE Transtactions on Vehicular Techonology*, 2016.
- [9] Sloane,N.J.A. “A Library of Orthogonal Arrays,” [Online]. Available: <http://neilsloane.com/oadir/index.html>