

MİKRODALGA SAYISAL RADYO LİNK SİSTEMLERİNİN TASARIMI İÇİN GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI

Özgür Gültekin
gultekino@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü,
34469, Maslak, İstanbul

Tayfun Günel
tgunel@ehb.itu.edu.tr

Anahtar Kelimeler : Mikrodalga, Radyolink, Optimizasyon, Genetik Algoritma

ÖZET

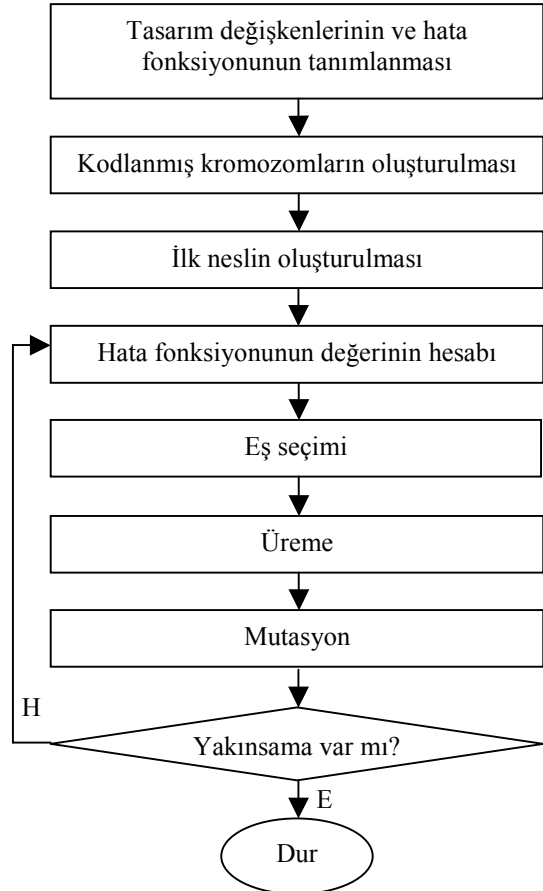
Bu çalışmada mikrodalga radyo link sistemlerinin tasarımı için eş yükseklikte, eş aralıklı eşdeğer antenler varsayımı yapılarak sürekli genetik algoritma yardımı ile uygun kule sayısı, verici gücü ve anten çapı bulunmasını sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemle bulunan sonuçlar coğrafi kayıtların da kullanılacağı sistem maliyet analizi süreci için bir öngörü yapmayı mümkün kılmaktadır. Sözü edilen tasarım problemi için sürekli genetik algoritma yaklaşımının optimal çözüm bulunmasında iyi sonuç verdiği görülmüştür.

I. GİRİŞ

Mikrodalga radyo iletişimi, fiber optik hatlar ve uydu iletişimi ile birlikte küresel iletişim ağının en önemli ayaklarından birini oluşturmaktadır. Özellikle şehirleşmenin düşük olduğu bölgeler arası noktadan noktaya iletişim konusunda bu iletişim türü alternatiflerine göre önemli bir maliyet avantajı sağlamaktadır. Mikrodalga radyo link sistemlerinin performansını düşüren öğelerden bazıları zayıflama distorsiyonu, serbest uzay yol kaybı, termik gürültü, atmosferik kayıplar, çok yol oluşumu ve atmosferik kırınım olarak sıralanabilir [1]. İşaret zayıflaması uzun mesafeli sistemlerde 150-200 dB gibi yüksek değerler alabilir. Ayrıca bu değerler zaman, frekans ve koordinat değişimlerine de son derece duyarlıdır. Bu duyarlılık nedeniyle kanal modelinin uygun bir şekilde oluşturulması sistem tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Tasarım hesaplarında kanal karakteristiği üzerinde oynama yapılma imkanı kısıtlı olduğundan, tasarımcının kontrolü altındaki verici, anten ve alıcı tasarımı ile modülasyon ve kodlama türünün seçiminin uygun bir şekilde yapılması gerekir. Bu çalışmada, uygun kule sayısı, verici gücü ve anten çapının hesabı için sürekli genetik algoritmaya dayalı bir yöntem önerilmiştir.

II. SÜREKLİ GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritma kökenini Darwin'in evrim teorisinden alan bir optimizasyon tekniğidir. Bu teknikte optimize edilecek problemin olası çözümleri belirli sayıda canlı içeren bir nesil oluşturacak kromozomlara eşdeğer şekilde kodlanır. DNA kopyalaması gibi biyolojik işlevler belirli matematiksel dönüşümlerle gerçekleştirilir. Uygun şekilde tanımlanmış bir hata fonksiyonu yardımıyla çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonucunda yeni bir nesil oluşturulur. Bir genetik algoritmanın başarımı her yeni nesilde çözüme ne kadar yakınsandığı ile ölçülür. Sürekli genetik algoritmanın işleyişi Şekil 1'deki akış şeması ile gösterilmiştir [2,3].

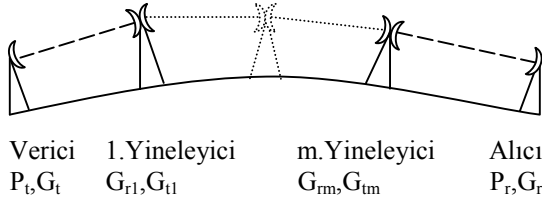


Şekil 1 SGA akış şeması

Genetik algoritmalar tasarım değişkenlerinin kodlanma şekline göre ikili genetik algoritmalar (İGA) ve sürekli genetik algoritmalar (SGA) olarak sınıflandırılmaktadır. İkili genetik algoritmalarda kromozomları oluşturan genler 0 ve 1'lerden oluşan bitlerle kodlanırken, sürekli genetik algoritmalarda her gen için gerçel sayı kümesinin bir elemanı karşılık düşürülmektedir. Bu sayede kromozomlar her iterasyonda gerçek değerlerinden ikili sisteme dönüştürülmeden, doğrudan çaprazlanabilmektedir. Böylece kuantalama hataları minimuma indirilirken, işlem sayısında da azalma olmaktadır. SGA'da mutasyon işlemi de ondalık sistemde yapılmaktadır. Bunun için her kromozomda rastlantısal olarak seçilen herhangi bir parametrenin değeri ondalık sistemde rastlantısal olarak belirlenen yeni bir değerle değiştirilmektedir. Genetik algoritmalar, sürekli ve ayrık değişkenleri bir arada içeren karmaşık optimizasyon problemlerinin global çözümlerini bulmak amacıyla günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır [4-7].

III. TEORİ

Şekil 2'de n adet yineleyici içeren bir mikrodalga radyo link sistemi, her anten kulesi için kullanılacak antenlerin kazançları ve sistemin verici ve alıcı güçleriyle birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2 m adet yineleyici içeren bir mikrodalga radyo link sistemi

Link tasarımı probleminin birinci aşaması anten kulelerinin yüksekliğinin belirlenmesi amacıyla bölgenin yol profilinin çıkarılmasıdır. Bu amaçla 1:25000 veya daha düşük ölçekli topoğrafik haritalardan yararlanılır. Bulunan coğrafi yol profilinin üzerine iletim yolunun güvenilirliğini sağlayacak kriterler uygulanarak yol tasarımı süreci tamamlanır [8].

Bu çalışmada spesifik bir yol profili alınmamış, anten kulelerinin eş yükseklikte ve eş aralıkta kuruldukları varsayımı yapılmıştır.

Link tasarımı probleminin ikinci aşaması sistem kaybı hesabıdır. Sistemdeki belirleyici kayıplar, ağırlıklı olarak serbest uzay yol kaybı olmak üzere, hat kayıpları, atmosferik kayıplar ve yağmur kayıplarından oluşmaktadır. Belirtilen son iki kayıp türü 10 GHz'den düşük frekanslarda çok etkili

olmamakla birlikte, yüksek frekanslarda kayıp hesapları üzerinde baskın bir faktör olmaktadır.

Kayıp hesapları için kullanılacak formüller Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Link hesabında kullanılan kayıp formülleri

Serbest uzay yol kaybı (L_p)	$L_p = 92,4 + 20 \log f + 20 \log D$
Hat kayıpları (L_t)	$L_t = \sum_{i=1}^n (h_i + x_i) LF$
Atmosferik kayıplar (L_a)	$L_a = \alpha_a D$ $\alpha_a = 2,16 \cdot 10^{-2} \left(\frac{f}{6,5} \right)^{4,19713 \cdot \log \left(\frac{f}{6,5} \right)}$
Yağmur kayıpları (L_{ra})	$L_{ra} = \alpha_{ra} D$ $\alpha_{ra} = 2,15 \cdot 10^{-4} f^{2,10137} R$
f : Taşıyıcı frekansı [GHz] h : Anten kule yüksekliği [m] n : Anten kulesi sayısı x : Yatay iletim hat uzunluğu [m] LF : İletim hat tipi kayıp faktörü [dB/m] D : Link mesafesi [km] α_a : Atmosferik zayıflama faktörü [dB/km] [9] α_{ra} : Yağmur zayıflatma faktörü [dB/km] [9] R : Ortalama yağış miktarı [mm/saat]	

Bu formüllerden toplam kayıp için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$L = L_p + L_t + L_a + L_{ra} \quad (1)$$

Link tasarımı probleminin üçüncü aşamasını alıcıda elde edilecek işaretin minimum seviyesinin (RSL_m) bulunması oluşturur. Sözü geçen büyüklük aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$RSL_m = N_0 + N_F + 10 \log R_b + \frac{E_b}{N_0} \quad (2)$$

Eşitlikte N_0 gürültü güç spektral yoğunluğunu, N_F alıcı gürültü eşdeğerini, R_b bit hızını, E_b/N_0 ise bit başına enerjinin Hertz başına gürültü gücünü simgelemektedir.

İletişim sistemlerinde gürültü genel olarak beyaz Gauss gürültüsü olarak kabul edildiğinden gürültü güç spektral yoğunluğu

$$N_0 = 10 \log(kT_0) \quad (3)$$

olarak ifade edilebilir. Burada k Boltzmann sabitini, T_0 °K cinsinden ortam sıcaklığını belirtir.

Eşdeğer alıcı antenlerin eş yükseklikte ve eş aralıklarla buldukları varsayımı yapılması

durumunda, toplam sistem gürültü eşdeğerinin (F), n kule sayısı olmak üzere (n-1) özdeş ve art arda bağlanmış kayıplı iletim ortamı (L_i) ve yineleyicinin (G_i, F_{Ri}) toplam gürültü eşdeğerine eşit olduğu söylenebilir. Bu durumda alıcı gürültü eşdeğeri,

$$F = L_1 F_{R1} + \frac{L_2 F_{R2} - 1}{G_1} + \dots + \frac{L_n F_{Rn-2} - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-2}} \quad (4)$$

ile ifade edilen Friis denkleminin uygun büyüklükler yerleştirilerek ve gerekli varsayımlar yapılarak [10], $N_R = 10 \log(F_{Ri})$ olmak üzere, yaklaşık olarak

$$N_F = 10 \log(F) - L \approx N_R + 10 \log(n-1) \quad (5)$$

şeklinde bulunabilir. Yukarıdaki eşitlikte N_R tek bir alıcı için gürültü eşdeğerini göstermektedir.

Uzun mesafeli mikrodalga sayısal radyo link sistemlerinde genel olarak modüle edilmiş işaret genliğinin değişmediği M-PSK modülasyonu tercih edilmektedir. Bu modülasyon türü için bit hızı ve bit başına enerjinin Hertz başına gürültü gücü şu şekilde tanımlanır:

$$R_b = \frac{\log_2 M}{2} B \quad (6)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{\log_2 M} \left[\frac{\text{erf}^{-1}[1 - \text{BER} \log_2 M]}{\sin \frac{\pi}{M}} \right]^2 \quad (7)$$

Burada M, PSK işaretin seviye sayısını, B işaret band genişliğini, BER bit hata oranını, $\text{erf}^{-1}[x] = y$ işlevi ise $\text{erf}[y] = x$ olacak şekilde ters hata fonksiyonunu simgelemektedir [11].

Link tasarımının dördüncü aşaması çok yol oluşumu sonucu ortaya çıkan ani kayıpların dengelenmesi için uygun sönümleme derinliğinin (FM) tanımlanmasıdır. Radyo link sistemleri için çeşitli sönümleme modelleri mevcuttur [12,13]. Bu modeller genel olarak ölçüm değerlerinin Rayleigh olasılık dağılımına uydurulması sonucu ortaya çıkan ampirik formüllerdir. Bu çalışmada baz alınan sönümleme modeli ITU-R tarafından önerilen iki metottan biri olan Yöntem 1'dir [14]. Bu modelin içerdiği değişkenler link mesafesi D (km), frekans f (GHz) ve yol profilinin eğimi ϵ_p (mrad) olarak belirlenmiştir. Ancak eş yükseklikte antenler varsayımı sonucu $\epsilon_p = 0$ olacağından değişken sayısı ikiye inmektedir.

ITU-R Yöntem 1'e göre sönümleme derinliği FM, bu değerin aşılması dolayısıyla ortaya çıkan yüzde

olarak kesinti süresi p(o) cinsinden şu şekilde tanımlanmıştır:

$$FM = 10 \log K - 36 \log D + 8,9 \log f - 14 \log(1 + |\epsilon_p|) - 10 \log p(o) - 8 \quad (8)$$

K 'logaritmik yer-iklimsel faktör' olarak tanımlanmış olup 'ortalama en kötü ay' varsayımıyla oluşturulan coğrafi bir sabittir.

Kesinti süresini düşürmek için diversite tekniği (uzay, frekans ve açı diversiteleri) ve adaptif dengeleyiciler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Link tasarımının beşinci aşaması ise anten kazançlarının hesaplanmasıdır. D_a (m) çaplı bir antenin kazancı f (GHz) frekansına bağlı olarak anten verimi %50 alınmak üzere

$$G_a = 17,4 + 20 \log f + 20 \log D_a \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. Eşdeğer antenler varsayımıyla n kule sayısı için sistemde kullanılan toplam anten sayısı (2n-2) olmaktadır.

Böylece bir radyo link sistemi için uygulanan işaretin alınan işaret ve kayıpların toplamına eşit olması gerektiğinden yola çıkılarak aşağıdaki genel eşitlik yazılabilir:

$$P_t + (2n-2)G_a = L + RSL_m + FM \quad (10)$$

Kule sayısı n, eşdeğer anten çapı D_a ve verici gücü P_t 'nin tasarım değişkenleri olarak seçilmesi durumunda (10) eşitliğinin sol tarafının her üç parametreyi de içerdiği, sağ tarafının ise P_t ve D_a 'dan bağımsız olduğu görülmektedir. Optimizasyon problemi eşitliğin iki tarafının dengelenmesi olarak belirlenebilir. Bu amaçla

$$H = P_t + (2n-2)G_a - L - RSL_m - FM \quad (11)$$

biçiminde oluşturulan hata fonksiyonunun minimizasyonu için sürekli genetik algoritma kullanılmıştır.

IV. TASARIM ÖRNEĞİ

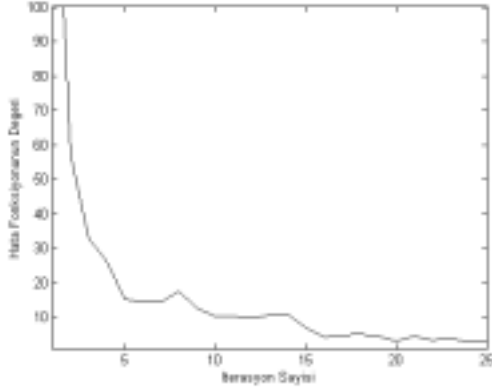
Aralarında D=1500km mesafe bulunan, ortalama yeryüzü şekillerine sahip, ılıman iklim kuşağında iki şehir arasında kurulacak bir radyo link sistemi için ortalama yağış miktarı R=10mm/saat, eşdeğer antenlerin yüksekliği $h_i=100$ m, yatay iletim hattı uzunluğu $x_i=25$ m olarak kabul edilmiştir. İletim hat tipi olarak dikdörtgen dalga kılavuzu (LF=0,087dB/m) seçilmiştir. Gürültü güç spektral yoğunluğu $N_0=-174$ dBm/Hz, her bir alıcı için

gürültü eşdeğeri $N_R=3\text{dB}$, işaret band genişliği $B=30\text{MHz}$, taşıyıcı frekansı $f=11\text{GHz}$, modülasyon türü 8-PSK olarak belirlenmiştir. $\text{BER}=10^{-5}$ bit hata oranı koşulu altında $p(o)$ toplam kesinti süresinin yılda en fazla 5 dakika (yaklaşık olarak %0,001) olması için sürekli genetik algoritma yardımıyla hata fonksiyonu minimize edilerek uygun kule sayısı, verici gücü ve anten çapı değerleri aranmıştır. Çözümün bulunacağı araştırma aralığı $0 < P_t < 50\text{dBm}$, $0 < D_a < 5\text{m}$ ve $1 < n < 26$ olarak seçilmiştir. Kromozomlara %5 oranında mutasyon işlemi uygulanmıştır. Kromozom sayısı 250 olarak alındığında SGA ile elde edilen çözüm Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2 SGA ile elde edilen sonuçlar

P_t [dBm]	D_a [m]	n
41.37	2.79	10

Hata fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi ise Şekil 3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3 Hata fonksiyonunun değişimi

V. SONUÇ

Bu çalışmada mikrodalga sayısal radyo link sistemleri için bir tasarım modeli oluşturularak, basitleştirilmiş bir optimizasyon problemi tanımlanmış, bu problemin çözümünün bulunması için sürekli genetik algoritma yaklaşımından yararlanılmıştır. Optimizasyon başarımının ölçülmesi amacıyla bir tasarım örneği verilerek, önerilen yöntemin sonuçları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan SGA'nın mikrodalga sayısal radyo link sistemlerinin tasarımı için uygun bir yaklaşım olduğu görülmektedir.

VI. KAYNAKLAR

1. W.Stallings, *Wireless Communications and Networks*, Prentice-Hall, New York, 2002
2. R.L.Haupt, S.E.Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, Wiley, New York, 1988
3. D.E.Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading, 1989
4. Y.R.Samii, E.Michielsen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, Wiley, New York, 1999
5. C.-Y.Lin, P.Hajela, 'Genetic Algorithms in Optimization Problems with Discrete and Integer Design Variables', *Eng. Opt.*, 19, 1992, sf. 309-327
6. T.Günel, E.Aydemir, 'Application of Continuous Parameter Genetic Algorithm to the Problem of Synthesizing Band Pass Distributed Amplifiers', *AEÜ (International Journal of Electron. Commun.)*, 56, 5, 2002, sf. 351-354
7. T.Günel, E.Aydemir, A.E.Karaca, 'Genetik Algoritma ile Transmisyon Hatlı Empedans Uydurucu Devrelerin Sentezi', *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi*, Kocaeli, 2001, sf. 294-297
8. F.Ivanek, *Terrestrial Digital Microwave Communications*, Artech, Norwood, 1989
9. C.Kayserilioğlu, *Modern Radar Sistemleri*, İTÜ, İstanbul, 1997
10. D.Pozar, *Microwave Engineering*, Wiley, New York, 1998
11. S.Haykin, *Communication Systems*, Wiley, New York, 2001
12. W.T.Barnett, 'Multipath Propagation at 4, 6 and 11 GHz', *Bell System Technical Journal*, 51, 2, 1972, sf. 321-361
13. S.Loyka, A.Kouki, 'Using Two Ray Multipath Model for Microwave Link Budget Analysis', *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 43, 5, 2001, sf. 31-36
14. R.L.Olsen, T.Tjelta, 'Worldwide Techniques for Predicting the Multipath Fading Distribution on Terrestrial LOS Links: Background and Results of Tests', *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 47,1,1999, sf. 157-170