

TABU ARAŞTIRMA ALGORİTMASI İLE İSTENİLEN DOĞRULTULARDA SIFIRLARA SAHİP LİNEER ANTEN DİZİ SENTEZİ

Kerim GÜNEY Ali AKDAĞLI

Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Mühendislik Fakültesi,
Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri
e-mail: kguney@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Anten Dizisi Sentezi, Tabu Araştırma Algoritması

ABSTRACT

In this paper, the technique for antenna array pattern synthesis with nulls at given directions using the tabu search algorithm by controlling only the excitation current amplitude of each element is efficiently presented. Tabu search is a general heuristic search procedure devised for finding a global optimum of a function which may be linear or non-linear. The technique proposed here is capable of synthesizing the array pattern with nulls imposed at the directions of undesired interferences while simultaneously maintaining the main beam directed toward the desired signal. The proposed technique is simple and easy to implement compared to conventional array pattern synthesis techniques. Numerical results have been showed to illustrate the effectiveness of the proposed technique.

1. GİRİŞ

Günümüzde, gelişen haberleşme teknolojisi ile beraber elektromanyetik ortam kirliliği de göz ardı edilemeyecek bir seviyeye gelmiştir. Bunun paralelinde, elektromanyetik kirlilikten dolayı oluşan girişimleri bastırmak ve böylece işaret-gürültü oranındaki düşmeği en aza indirebilmek için, girişimlerin olduğu doğrultularda sıfırları olan diyagrama sahip anten dizisi tasarlamak, radar ve haberleşme sistemlerinde oldukça önem kazanmıştır [1-12]. Literatürde bu konuda yoğun çalışmalar yapılmasına rağmen, esnek ve basit olması şartıyla hiçbir metot anten sentez problemine mükemmel bir çözüm henüz üretememiştir. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada lineer anten dizisinin genlik uyarım katsayıları, istenilen doğrultularda sıfırlara sahip anten dizisi diyagramını elde etmek için esnek ve basit bir yapıya sahip olan tabu araştırma algoritması ile belirlenmiştir.

Tabu araştırma algoritması, oldukça yeni ve zor problemlerin çözümünde kullanılan yönlendirilmiş

bir optimizasyon algoritmasıdır [13-14]. Çok modlu problemler için global optimum çözümleri bulma yeteneğine sahiptir. Tabu araştırma algoritmasında daha önceden denenmiş çözümler, tekrar tekrar denenmeyerek, araştırma yönünün, denenmeyen alanlara yönlendirilmesi amaçlanmıştır. Böylece diğer sezgisel yöntemlerdeki, çözümlerin tekrar değerlendirilmesinden dolayı ortaya çıkan zaman kaybının önüne geçilmiştir. Tabu araştırma algoritmasında, tek bir çözümün komşuları (çözüm adayları) çeşitli fonksiyonlarla belirlenir. Eğer bu komşulardan daha önce denenmişler varsa (tabu listesinde iseler), bunların yerine başka komşular üretilerek araştırmanın hızlandırılması sağlanır ve yerel optimum noktalarda ortaya çıkan kısır döngüye girilmesi engellenir. Bu, tabu araştırma algoritmasının en önemli avantajıdır. Esnek yapısından ve basit olmasından dolayı, eşkenar üçgen ve dairesel mikroserit antenlerin rezonans frekansı tabu araştırma algoritması ile hesaplanmıştır [15-16]. Ayrıca, arzu edilen Chebyshev ve sektörel diyagramları elde etmek için, eşit aralıklı lineer anten dizisinin uyarım genlik katsayılarının belirlenmesinde de tabu araştırma algoritması kullanılmıştır [17-18]. Bu çalışmada ise, istenilen doğrultularda sıfırlara sahip diyagramı en iyi yaklaşıklık ile üretecek lineer anten dizisi elemanlarının genlik uyarım katsayıları, tabu araştırma algoritması ile belirlenmiştir.

2. LİNEER ANTEN DİZİ FAKTÖRÜ

2N tane izotropik eleman z eksenli boyunca simetrik olarak yerleştirildiğinde ve genlik uyarım katsayıları dizi merkezi civarında simetrik olduğunda, uniform olmayan genlikli ve enine ışımalı dizi için normalize formda dizi faktörü aşağıdaki şekilde verilir.

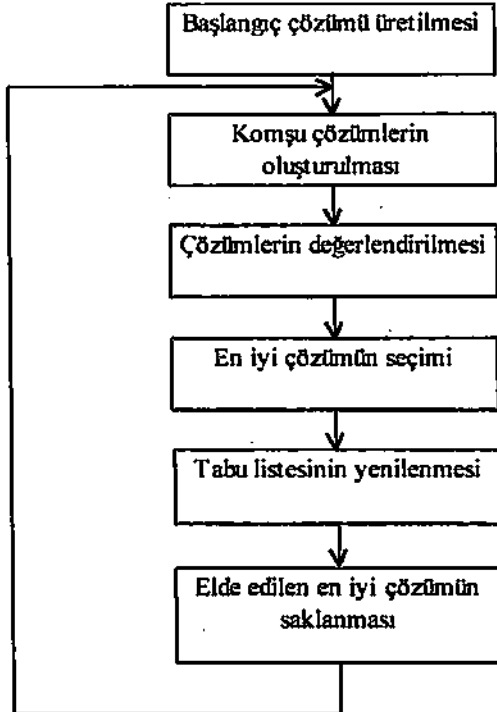
$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^N a_n \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} d_n \cos(\theta)\right) \quad (1)$$

Burada, a_n genlik uyarım katsayıları ve d_n n. elemanın dizi merkezine olan uzaklığıdır. Denklem (1) de verilen dizi faktörü ifadesindeki her bir anten dizisi

elemanın uyarım genliği, arzu edilen doğrultularda sıfırlara sahip dizi faktörünü üretmek için aşağıdaki bölümde açıklanan tabu araştırma algoritması ile optimum olarak belirlenmiştir.

3. TABU ARAŞTIRMA ALGORİTMASI

Tabu araştırma algoritması, lineer yada lineer olmayan bir fonksiyonun global optimumunu bulmak için geliştirilen sezgisel bir araştırma algoritmasıdır [13-14]. Temel bir tabu araştırma algoritmasının akış diyagramı, Şekil-1'de verilmiştir.



Şekil 1. Temel bir tabu araştırma algoritmasının akış diyagramı

Tabu araştırma algoritması, araştırmanın önceki adımları ile ilgili bilgileri saklamak amacıyla kullanılan esnek bir hafızaya sahiptir. Hafızada saklanan bu bilgiler, araştırma uzayındaki yeni çözüm kümelerinin oluşturulması için kullanılır. Tabu araştırma algoritması, o anki mevcut çözümlerden (x_m) küçük bir değişimle elde ettiği makul bir denenenmiş çözüm kümesi (Q) üreterek optimizasyona başlar. Bu değişim, hareket (move) olarak tanımlanır. Araştırma uzayında bir yerel minimum noktada takılmayı engelleyebilmek için x^* , o anki çözümden (x_m) daha kötü olsa bile x^* 'a hareket uygulanır. Ancak bu da araştırmayı, bir kısır döngü içerisine sokabilir. Bu kısır döngüyü mümkün olduğu kadar engellemek için, bir tabu listesi oluşturulur ve o anki çözüme uygulanmasına izin verilmeyen tüm tabu hareketler tabu listesinde saklanır. Tabu listesine dahil edilen hareketler, yasaklanmış hareketlerdir. Bir hareketin tabu olup

olmayacağını belirlemek için, tabu kısıtlamaları adı verilen bazı kriterler kullanılır. Tabu listesinin kullanılması, araştırma sırasında bir bölgede takılma ihtimalini azaltır, çünkü belirli bir iterasyon sayısında daha önce denenenmiş çözümlerin tekrar denenmesini engeller. Tabu listesine göre üretilen makul bir alt çözüm kümesi (Q^*) üretildikten ve problem için değerlendirildikten sonra bir sonraki çözüm, bu alt çözüm kümesinden seçilir ve tabu listesi güncellenir. Değerlendirmedeki en iyi çözüm, yeni çözüm (x_n) olarak seçilir. Bu döngü, belirli bir durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır.

Bu çalışmada kullanılan tabu araştırma algoritması, yakınlık (recency) ve frekans (frequency) tabanlı hafızaya dayanan iki tabu kısıtlama faktörüne sahiptir:

$$\begin{aligned} \text{yakınlık}(x^*) &\geq \text{yakınlık sınırı} \\ \text{frekans}(x^*) &\leq \text{frekans sınırı} \end{aligned}$$

Bir hareketin yakınlığı, o anki iterasyon sayısı ile o hareketin daha önce en son yapıldığı iterasyon sayısı arasındaki farktır. Frekans ise, o hareketin değişim sayısıdır.

Tabu kısıtlamaları, bazen, henüz denenenmemiş bir çözüme hareketi engelleyebilir, hatta bazı durumlarda mümkün olan tüm hareketler tabu olarak sınıflandırılabilir. Böyle durumlarda tabu kısıtlamalarını ortadan kaldıran ve hangi hareketin tabu listesinden çıkacağına karar veren bir serbest bırakma (Aspiration) kriteri kullanılır.

4. TABU ARAŞTIRMA ALGORİTMASININ PROBLEME UYGULANMASI

Tabu araştırma algoritması ile bir problemi optimize etmek için öncelikle probleme uygun olan hata fonksiyonunu tayin etmek gerekir. Bu çalışmada kullanılan hata fonksiyonu,

$$E(\theta) = \sum_{\theta=0}^{180} |AF(\theta) - D(\theta)| \quad (2)$$

ile verilir. Burada $AF(\theta)$ denklem (1) ile verilen ve genlik uyarım katsayıları tabu araştırma algoritması ile belirlenen dizi faktörünü ve $D(\theta)$ arzu edilen diyagramı temsil eder.

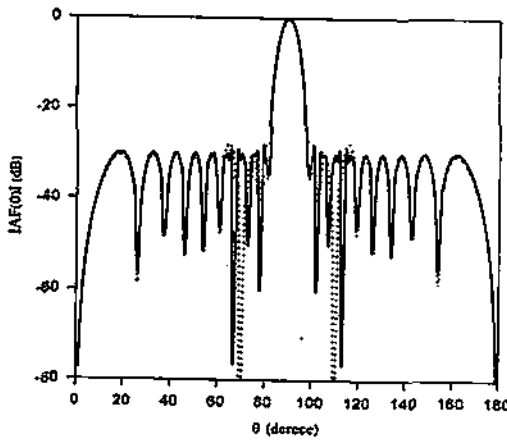
Tabu araştırma algoritmasının lineer dizi sentezinde istenilen açı veya açılarda sıfırlara sahip dizi diyagramları ürettiğini göstermek için, yankulak seviyesi -30 dB, dizi elemanları aralarındaki mesafe $d=\lambda/2$ olan 20 elemanlı Chebyshev dizi diyagramı başlangıç diyagramı olarak alınmış ve bu dizinin genlik uyarım katsayılarında perturbasyonlar yapılarak istenilen açılarda sıfırları olan diyagrama sahip lineer anten dizisinin genlik uyarım katsayıları, tabu araştırma algoritması ile belirlenmiştir. Kullanılan algoritmanın başarısını göstermek için, 5 farklı örnek ele alınmıştır.

Birinci örnekte 70° de, ikinci örnekte ise hem 40° de hem de 70° de sıfırı olan dizilerin genlik uyarım

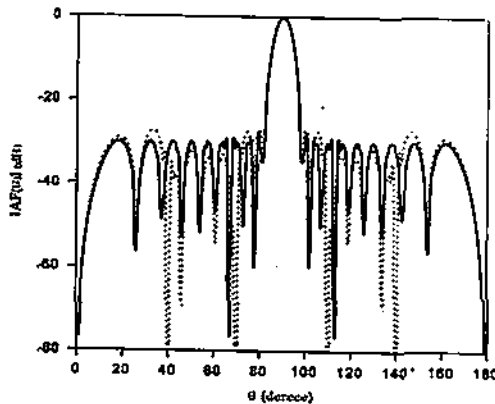
katsayıları tabu araştırma algoritması ile belirlenmiş ve Tablo-1'de verilmiştir. Bu katsayıların denklem (1) de yerine konulması ile elde edilen diyagramlar, başlangıç Chebyshev dizi diyagramı ile beraber Şekil-2a ve Şekil-2b'de gösterilmiştir.

Tablo-1. Tabu araştırma algoritması ile belirlenen genlik uyarım katsayıları (a_n)

n	Şekil-2a	Şekil-2b	Şekil-3a	Şekil-3b
± 1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
± 2	0.92957	0.89595	0.98300	0.97176
± 3	0.83554	0.87266	0.89053	0.89026
± 4	0.76751	0.74968	0.75642	0.78950
± 5	0.71990	0.70005	0.68037	0.66967
± 6	0.63215	0.64030	0.62034	0.55878
± 7	0.49578	0.50049	0.44891	0.43076
± 8	0.34967	0.42102	0.24064	0.29659
± 9	0.23787	0.22996	0.15208	0.19839
± 10	0.28537	0.26334	0.28211	0.08163



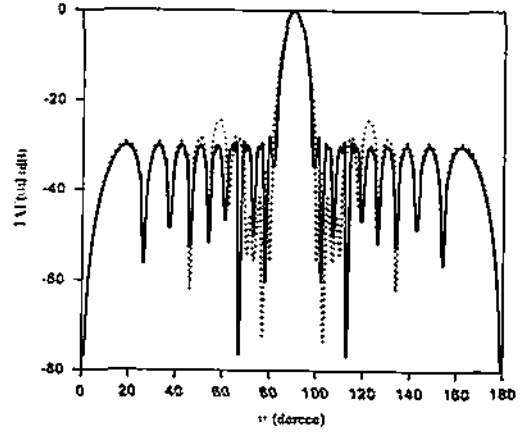
(a)



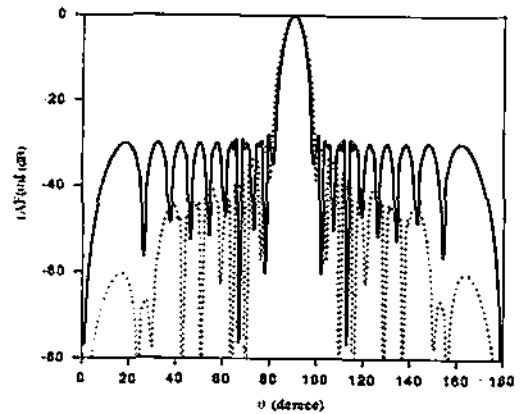
(b)

Şekil 2. Chebyshev dizi diyagramı (—) ve genlik uyarım katsayıları tabu araştırma algoritması ile belirlenen (a) 70° de ve (b) 40° ve 70° de sıfırları olan dizi diyagramları (---)

Üçüncü örnek olarak, Chebyshev dizi diyagramının ana demet yanındaki ilk üç yankulak tepelerini ve dördüncü örnek olarak da tüm yankulak tepelerini sıfıra indirmek için tabu araştırma algoritması ile genlik uyarım katsayıları belirlenmiş ve Tablo-1'de verilmiştir. Belirlenen katsayılar kullanılarak elde edilen diyagramlar da üçüncü örnek için Şekil-3a'da, dördüncü örnek için Şekil-3b'de gösterilmiştir.



(a)



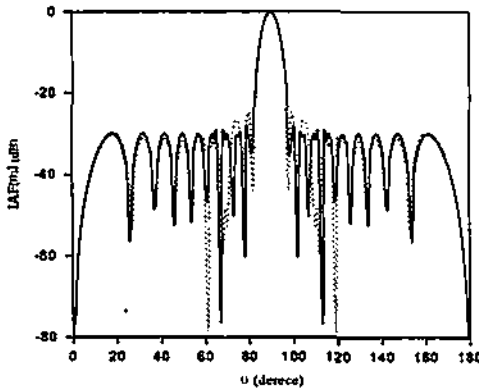
(b)

Şekil 3. Chebyshev dizi diyagramı (—) ve genlik uyarım katsayıları tabu araştırma algoritması ile belirlenen (a) ilk üç yankulak ve (b) tüm yan kulak tepeleri sıfıra indirgenen dizi diyagramları (---)

Şekil-2'den açıkça görüldüğü gibi tabu araştırma algoritması ile elde edilen diyagramlar, arzu edilen gereksinimleri sağlamaktadır. Şekil-2a'da verilen diyagramın 70° deki sıfır derinliği, -100 dB olarak elde edilmiştir. Şekil-2b'de verilen diyagramın sıfır derinlikleri ise, 40° de -96 dB'e ve 70° de -99 dB'e kadar inmektedir. Elde edilen sıfır derinliği değerlerinin oldukça büyük olmasına rağmen Şekil-2a ve Şekil-2b'de verilen diyagramların yankulakları ile

başlangıç Chebyshev dizi diyagramının yankulakları arasındaki uyum da oldukça iyidir. Sıfır derinlikleri tabu araştırma algoritması ile istenildiği gibi ayarlanabilir. Ana demet yanındaki ilk üç yankulak ve tüm yankulak tepelerinin sıfıra indirilmesinde bile iyi sonuçların elde edildiği Şekil-3'den görülmektedir.

Tabu araştırma algoritması, literatürdeki bir çok sentez metodu gibi çözümü tek olan bir algoritma değildir; yani dizayncının isteğine göre farklı seçenekler sunabilir. Bu tabu araştırma algoritmasının esnek bir algoritma olduğunu gösterir. Bu esnekliği göstermek için örnek 1'de verilen problem, dinamik aralık $|a_{\max}/a_{\min}|=2$ 'ye kısıtlanarak yeniden çözülmüş ve elde edilen diyagram Şekil-4'de verilmiştir. Şekil-2a ve Şekil-4'de verilen diyagramlar incelendiğinde, 70° deki sıfır derinliği, Şekil-2a'da verilen diyagram



Şekil 4. Chebyshev dizi diyagramı (—), dinamik aralığı 2 olarak kısıtlanan ve 70° de sıfıra sahip dizi diyagramı (---)

için -100 dB olarak elde edilirken Şekil-4'de verilen diyagram için -53 dB olarak elde edilmiştir. Ayrıca, yankulak seviyesi dikkate alındığında, Şekil-2a'da verilen diyagramın Şekil-4'de verilen diyagrama göre başlangıç Chebyshev dizi diyagramına daha iyi yaklaştığı açıkça görülmektedir. Bunun sebebi, Şekil-2a'da verilen diyagram için dinamik aralığın 4.2 olması; Şekil-4'de verilen diyagram için ise dinamik aralığın 2 olarak kısıtlanmasıdır. Burada şuna dikkat çekmek gerekir. Daha büyük dinamik aralıkta yapılan tasarımlar, daha büyük çözüm uzayına sahip olduğundan sonuçta daha iyi yaklaşan çözümler üretebilirler; ancak bu durumda yapılan tasarımın pratik olarak gerçekleştirilebilme gücü ortaya çıkabilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, lineer anten dizisinin genlik uyarım katsayıları, arzu edilen doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramını elde etmek için, tabu araştırma algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen

katsayılar kullanılarak elde edilen diyagramların istenilen gereksinimleri sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca, genlik uyarım katsayılarına kısıtlama getirilerek yani dinamik aralık değiştirilerek farklı diyagramların elde edilebileceği gösterilmiştir. Tabu araştırma algoritmasının anten dizi sentezinde kullanılmasının en önemli avantajları, verimliliği, esnekliği, doğruluğu ve uygulanabilmedeki basitliğidir.

KAYNAKLAR

- [1] Balanis, C. A., *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley and Sons, 1982.
- [2] Schelkunoff, S. A., "A mathematical theory of linear arrays," *Bell System Technical Journal*, vol. 22, pp. 80-107, 1943.
- [3] Mikovica, M. and Nesic, A., *CAD for Linear and Planar Antenna Arrays of Various Radiating Elements: Software and Users' Manual*, Artech House, Inc., 1992.
- [4] Mailloux, R. J., *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House Inc., 1994.
- [5] Olen, C. A. and Compton, R. T., "A numerical pattern synthesis algorithm for arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 38, pp. 1666-1676, 1990.
- [6] Prasad S., "Linear antenna arrays with broad nulls with applications to adaptive arrays", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-27, pp. 185-190, 1979.
- [7] Steyskal, H., "Synthesis of antenna pattern with prescribed nulls", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-30, pp. 273-279, 1982.
- [8] Steyskal, H., "Methods for null control and their effects on the radiation pattern", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, pp. 404-409, 1986.
- [9] Er, M.H., "Technique for antenna array pattern synthesis with controlled broad nulls", *IEE Proc.*, vol. 135, pt. H, pp. 375-380, 1988.
- [10] Er, M.H., "Linear antenna array pattern synthesis with prescribed broad nulls", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-38, pp. 1496-1498, 1990.
- [11] Shpak, D.J., "A method for the optimal pattern synthesis of linear arrays with prescribed nulls", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-44, pp. 286-294, 1996.
- [12] Akdağlı A. ve Güney K., "Temel genetik algoritma kullanarak lineer anten dizi sentezi," Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 10. Yıl Sempozyumu, 1998.
- [13] Glover, F., "Tabu search part I," *ORSA J. Comput.*, vol. 1, no. 3, pp. 190-206, 1989.

- [14] Glover, F., "Tabu search part II," ORSA J. Comput., vol. 2, no. 1, pp. 4-32, 1990.
- [15] Karaboğa, D., Güney, K., and Akdağlı, A., "A new effective side length expression obtained using a modified tabu search algorithm for the resonant frequency of a triangular microstrip antenna," International Journal of Radio Frequency and Microwave Computer Aided Engineering, vol. 8, no. 1, pp. 4-10, 1998.
- [16] Karaboğa, N., Güney, K., and Akdağlı, A., "A new effective patch radius expression obtained by using a modified tabu search algorithm for the resonant frequency of electrically-thick circular microstrip antennas", Int. J. Electronics, vol. 86, pp. 825-835, 1999.
- [17] Güney, K., and Akdağlı, A., "Tabu araştırma algoritması ile lineer anten dizisinin genlik uyarım katsayılarının belirlenmesi" Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi, Gaziantep, 456-459 (6-12 Eylül 1999)
- [18] Güney, K., and Akdağlı, A., "Tabu search algorithm for Chebyshev arrays", International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'99), Bursa, Turkey, 238-241 (1-5 December 1999).