

Bayliss Fark Işıma Diyagramı Senteziyle Elde Edilen Yan Kulakçık Seviyelerinin Schelkunoff Birim Çember Yöntemiyle İyileştirilmesi

Koray Sürmeli, Umut Buluş, Bahattin Türetken
TÜBİTAK-BİLGEM-UEKAE
Gebze/Kocaeli

koray.surmeli@tubitak.gov.tr, umut.bulus@tubitak.gov.tr, bahattin.turetken@tubitak.gov.tr

Özet: Bu çalışmada Bayliss algoritması kullanılarak yüksek fark derinliğine ve düşük yan kulakçık seviyesine sahip bir ışıma diyagramı elde edilmiştir. Ardından Schelkunoff birim çember yöntemi kullanılarak yeni besleme genlik katsayıları hesaplanmış ve daha düşük yan kulakçık seviyeleri elde edilmiştir. Schelkunoff birim çember yönteminde N elemanlı bir dizinin $(N-1)$. dereceden polinom biçiminde ifade edilerek hüzmenin sıfır noktaları birim çember üzerine yerleştirilmektedir. Yerleştirilen sıfır noktalarının açı değerleri optimize edilerek yan kulakçık bastırma çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

1. Giriş

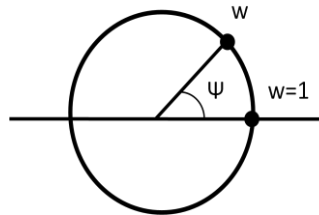
Dizi antenler, istenen ışıma diyagramlarının elde edilmesi amacıyla her bir dizi elemanının genlik ve faz verisi ayrı ayrı belirlenerek elde edilen sistemlerdir [1]. Anten dizileri doğrusal, dairesel, düzlemsel, yüzeye uyumlu, rastgele dizimli gibi farklı geometrik yapılarla oluşturulabilirler. Uygulamalarda öne çıkan önemli ışıma özellikleri ana demetin doğrultusu ve genişliği, yan kulakçık seviyeleri (side lobe level), hüzme tarayabilme ve şekillendirmedir. Anten dizileri anten hüzmesini daraltmak, hüzmeyi şekillendirmek, yönlendirmek ve kazancı artırmak için kullanılabilirler. Besleme genlik ve fazları ile diziyi oluşturan anten sayıları değiştirilebilir parametrelerdir. Bu yapılar istenilen bir hüzme şeklini elde etmek için değiştirilebilir. Dizinin ışıma diyagramı ise diziyi oluşturan eş elemanların birinin ışıma diyagramı ile dizi faktörünün (uzay faktörü) çarpımından elde edilmektedir. Uzay faktörü yönsüz elemanlardan oluşan benzer bir dizinin ışıma diyagramı olarak ifade edilebilir.

Schelkunoff [2-8] birim çember yöntemi; dizi sentez problemine matematiksel olarak çözüm getirmiştir. Bu yöntem kullanılarak bir dizinin ışıma diyagramına ait sıfır noktaları, ana hüzmenin oluşacağı açı değerleri, HPBW (half power beamwidth), yan kulakçık seviyeleri gibi parametreler matematiksel olarak hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada Schelkunoff birim çember yöntemi kullanılarak çeşitli dizi anten sentezleme çalışmaları yapılmış ve matematiksel olarak elde edilen veriler tam dalga çözüm yapan bir elektromanyetik benzetim programı ile doğrulanmıştır.

2. Schelkunoff Birim Çember Yöntemi

Elemanlar arası mesafenin aynı olduğu her bir doğrusal dizi bir polinom olarak ifade edilebilir. Benzer şekilde her bir polinom da bir doğrusal dizi olarak yorumlanabilir. Eğer elemanlar arası mesafe aynı değil ise bu durumda dizi özdeş olmayan eksponansiyellere sahip bir cebirsel fonksiyon olarak ifade edilebilir. Dizinin toplam açıklığı elemanlar arasındaki mesafe ile polinomun derecesi çarpılarak bulunur. Polinomun derecesi ise eleman sayısının bir eksiği kadardır.

Schelkunoff birim çemberi genellikle dizilerin görünür bölgesini tanımlamakta kullanılmaktadır. Görünür bölge ise dizi faktöründe açısal terimin θ açısı 0° ve 180° olduğunda aldığı değerler arasında kalan bölgedir ve bu bölge kolaylıkla birim çember üzerinde ifade edilmektedir. Görünür bölge, temel olarak elemanlar arasındaki mesafeye ve elemanlar arası ilerleyen faz farkına bağlıdır. Bu nedenle, istenilen sıfır açıları için elemanlar arasındaki mesafenin olması gereken değer birim çember metodu yardımıyla hesaplanabilir.



Şekil 1. Schelkunoff birim çemberi.

Burada $\psi = k d \cos \theta + \beta$ ve $w = e^{j\psi}$ 'dir. θ ise dizinin ışıma diyagramının azimut açısıdır. Ayrıca $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, d elemanlar arası mesafe ve β antenin ışıma diyagramının baktığı yönün açısını (broadside'dan farkı) ifade etmektedir. Birim çember üzerinde ilk olarak başlangıç (ψ_s) ve bitiş noktaları (ψ_f) belirlenir. Bunun için aşağıdaki işlemleri yapmak yeterlidir. $\beta = 0$ olduğu durum için;

$$\psi_s = kdcos(0^\circ) \quad (1)$$

$$\psi_f = kdcos(180^\circ) \quad (2)$$

Birim çember üzerinde başlangıç ve bitiş noktaları yerleştirilirken $w = 1$ ekseninin en sağ noktası referans olarak alınır ve noktalar saat yönünün tersinde hareketle bulunur. Başlangıç ve bitiş noktaları birim çember üzerinde belirlendikten sonra başlangıç noktası sıfır olarak kabul edilir.

N elemanlı bir dizi antenin polinom şeklinde ifade edilmesi ise aşağıdaki denklemde gösterildiği gibidir.

$$f(w) = (w - e^{j\psi_1})(w - e^{j\psi_2})(w - e^{j\psi_3}) \dots \dots (w - e^{j\psi_{N-1}}) \quad (3)$$

Polinomdaki sabit kısım (0. Derecedeki eleman) bir olacak şekilde normalize edilir. Elde edilen sonuçta w 'lı terimlerin katsayıları dizinin genlik besleme katsayılarını, ekponansiyel terimdeki değerler ise dizinin besleme genlik fazını belirtmektedir.

Örnek olarak elemanlar arası mesafe $d = 0.5\lambda$ olan ve ışıma diyagramındaki sıfır noktaları $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ bulunan dört elemanlı bir anten dizisi için besleme genlik ve faz değerlerinin hesaplanması aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\psi_s = kdcos(0^\circ) + 0^\circ = \pi \quad (4)$$

$$\psi_f = kdcos(180^\circ) + 0^\circ = -\pi \quad (5)$$

Başlangıç ve bitiş noktaları belirlendikten sonra sıfır noktalarının olduğu ψ değerleri hesaplanmaktadır.

$$\psi_1 = \frac{360}{\lambda} \frac{\lambda}{2} cos(0^\circ) = 180^\circ \quad (6)$$

$$\psi_2 = \frac{360}{\lambda} \frac{\lambda}{2} cos(90^\circ) = 0^\circ \quad (7)$$

$$\psi_3 = \frac{360}{\lambda} \frac{\lambda}{2} cos(180^\circ) = -180^\circ \quad (8)$$

Son olarak ışıma diyagramı ifadesi polinom biçiminde yazılmaktadır.

$$f(w) = (w - w_1)(w - w_2)(w - w_3) \quad (9)$$

$$f(w) = (w - e^{j180})(w - e^{j0})(w - e^{-j180}) \quad (10)$$

Son terim 1 olacak şekilde normalizasyon işlemi uygulanırsa;

$$f(w) = -w^3 - w^2 + w + 1 \quad (11)$$

Bu durumda her bir elemanın genlik ve faz değerleri aşağıdaki gibi elde edilir.

Tablo 1. Genlik ve faz değerleri

Anten elemanları	1	2	3	4
Genlik	1	1	1	1
Faz (Derece)	180°	180°	0°	0°

Elemanlara arası mesafenin $d = \lambda$ olduğu 5 elemanlı bir dizi için;

$$\psi_s = kdcos(0^\circ) = 2\pi \quad (12)$$

$$\psi_f = kdcos(180^\circ) = -2\pi \quad (13)$$

olarak elde edilir. Bu durumda w dairenin etrafında iki tur atar. Böylece $\theta = 0$ noktasından iki defa geçilir ve ızgara kulakçık (grating lobe) oluşur. Izgara kulakçıkların oluşmaması için ψ_f 'in son kökte (w_4) bitmesi gerekir. Böylece ızgara kulakçıkların oluşmaması için bir kısıtlama getirilebilir.

$$kd = \psi_s = -\psi_f = 2\pi - \frac{2\pi}{N+1} = \frac{2\pi N}{N+1} \quad (14)$$

$$\left(\frac{d}{\lambda}\right)_{maks} = \frac{N}{N+1} \quad (15)$$

3. Bayliss Algoritması

Fark ışıma diyagramlarında düşük yan kulakçık seviyeleri elde etmek amacıyla Bayliss tarafından bir fark ışıma diyagram fonksiyonu oluşturulmuştur [9-10]. Bayliss tarafından oluşturulan fark ışıma diyagramı Taylor'un toplam ışıma diyagramını temel olarak almaktadır. Bayliss Taylor'un ideal ışıma diyagram fonksiyonunun türevini alarak bir fark ışıma diyagram fonksiyonu oluşturmuştur. Ancak bu fonksiyonun yan kulakçık seviyeleri eşit yükseklikte değildir. Yan kulakçık seviyelerini eşit yapabilmek için fonksiyonun ilk dört sıfır noktasının kaydırılması yeterlidir. Fonksiyonun tepe değeri orijinde yer almaktadır ve ana demetten sonraki sıfır noktası ilk sıfır noktasına karşılık gelmektedir. Ancak bu dört sıfır noktası yan kulakçık seviyesine bağlıdır. Bayliss algoritmasında A parametresi yan kulakçık seviyesini, N ise merkez bölgenin büyüklüğünü ifade etmektedir. Model fonksiyonunun sıfırları aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$Z_n = \begin{cases} 0; & n = 0 \\ \mp \xi_n; & n = 1, \dots, T \\ \mp (A^2 + n^2)^{1/2}; & n = T + 1, \dots \end{cases} \quad (16)$$

Model fonksiyonun gerçekleştirilebilir olması için uzak yan kulakçık bölgesindeki davranışının değiştirilmesi gerekmektedir. Bunun için merkez bölgeden sonraki sıfır noktaları kaydırılır. Merkez bölgesinin sınırında ise sıfırların çakışması için bir gecikme faktörü kullanılır. Bu faktör aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\sigma = \frac{N + \frac{1}{2}}{Z_N} \quad (17)$$

İşıma diyagramı fonksiyonu sonlu toplam biçiminde ifade edilebilir.

$$F(u) = u \cos(\pi u) \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ \frac{(-1)^n B_n}{(n + 1/2)^2 - u^2} \right\} \quad (18)$$

Açıklık fonksiyonu ve Bessel katsayıları ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$g(x) = \sum_{l=0}^{N-1} B_l \sin \mu_l x; \quad -\pi \leq x \leq \pi \quad (19)$$

$$B_m = -(-1)^m \left(m - \frac{1}{2}\right)^2 \frac{\prod_{n=1}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{m + \frac{1}{2}}{\sigma Z_n}\right)^2\right]}{\prod_{\substack{n=0 \\ n \neq m}}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{m + \frac{1}{2}}{\sigma Z_n}\right)^2\right]} \quad (20)$$

Bessel katsayıları açıklık fonksiyonuna uygulandığında istenen besleme genlik katsayıları elde edilmektedir.

4. Tasarım Çalışmaları

Bu çalışmada, öncelikle düşük yan kulakçık seviyesi ve derin fark derinliği elde edebilmek amacıyla Bayliss algoritması uygulanmıştır. Daha sonra bu algoritmayla hesaplanan katsayılar dipol anten kullanılarak tam dalga çözüm yapan CST Microwave Studio [11] programıyla simüle edilmiştir. Sonuçta elde edilen ışıma diyagramının karşılık geldiği ψ değerleri (3) denklemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra bu ψ değerleri Schelkunoff birim çemberi üzerine yerleştirilmiş ve yan kulakçık seviyelerini düşürmek için ψ değerleri değiştirilmiştir. Bu yeni ψ değerlerinin karşılık geldiği besleme genlik katsayıları eşitlikler (6-11) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu yeni katsayıları doğrusal diziye uygulandığında yan kulakçık seviyelerinde 3.5 dB kadar iyileşme gözlenmiştir. 16 elemanlı dizi için Bayliss ile hesaplanan besleme genlik katsayıları aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 2. Bayliss besleme genlikleri

Anten elemanları	1	2	3	4	5	6	7	8
Genlik	0.4730	0.6158	0.8213	0.9763	1	0.8704	0.5980	0.2142

Bu dizi için hesaplanan ψ değerleri ise Tablo 3'te gösterimiştir.

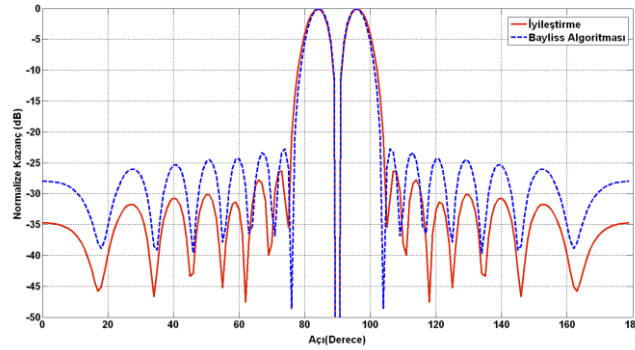
Tablo 3. Bayliss besleme genlikleri için elde edilen ψ değerleri (Derece)

0°	44.291°	59.240°	79.547°	101.058°	123.745°	146.252°	168.754°
----	---------	---------	---------	----------	----------	----------	----------

Daha sonra bu ψ değerleri Schelkunoff birim çemberi üzerine yerleştirilmiş ve yan kulakçık seviyelerini düşürmek için ψ değerleri değiştirilmiştir. 0° dışındaki her bir ψ değeri üç derece artırılmıştır. Bu durumda elde edilen besleme genlik katsayıları Tablo 4'te elde edilen ışıma diyagramı ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 4. İyileştirme sonucu elde edilen besleme genlik katsayıları

Anten elemanları	1	2	3	4	5	6	7	8
Genlik	0.3286	0.5165	0.7724	0.9570	1	0.8908	0.6280	0.3286

**Şekil 2.** İyileştirme sonucu.

Şekil 2'deki sonuçlardan görüldüğü üzere Schelkunoff birim çemberi kullanılarak dizi antenlerin ψ değerleri uygun bir şekilde değiştirildiğinde daha düşük yan kulakçıklara sahip ışıma diyagramları elde edilebilmektedir. Bununla birlikte hüzme genişliğinde de artış görülmektedir. Yukarıdaki çalışmada hüzme genişliği 0.26° artmıştır.

Kaynaklar

- [1] Cheng, D., Field and Wave Electromagnetic (International Edition), Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- [2] Schelkunoff, S.A. "A Mathematical Theory of Linear Arrays", Bell System Tech. J., 22, syf. 80-107, 1943.
- [3] Wong, A.M.H., Eleftheriades, G.V., "Adaptation of Schelkunoff's Superdirective Antenna Theory for the Realization of Superoscillatory Antenna Arrays", Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE., vol. 9, syf. 315-318, 2010.
- [4] Deger, S., Saka, B., "Effect of Mutual Coupling on the Performance of Adaptive Arrays", Signal Processing and Communications Applications, 2007, syf. 1-4.
- [5] Surendra, N., Subhashini, K.R., Manohar, G.L., "Cylindrical Antenna Array Synthesis with Minimum Side Lobe Level Using PSO Technique", Engineering and Systems (SCES), 2012 Students Conference, 2012, syf. 1-6.
- [6] Choudhari, S., Ray, K. P. Kulkarni, S., "Design and Development of 4 Element Linear Microstrip Patch Antenna Array with Null Steering by Phase Control", International Conference on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2011), 2011, syf. 645-649.
- [7] [Khan, A.A., Brown, A.K., "Wideband Scanning Small Linear Arrays in Presence of Mutual Coupling", Electronics Letters., vol. 46, syf. 270-271, 2010.
- [8] Khan, A.A., Brown, A.K., "Sidelobe Improvement in Small Arrays Using Z-Plane Transform and Particle Swarm Optimizer, "3rd European Conference on Antennas and Propagation, 2009, syf. 3011-3013.
- [9] Bayliss, E., T., (1986). "Design of monopulse antenna difference patterns with low side lobes", Bell Syst. Tech. J, 47:623-650.
- [10] Hansen, R. C., (2001). Phased Array Antennas, John Wiley & Sons., Boston
- [11] CST Microwave Studio, Ver. 2010 Computer Simulation Technology, Framingham, MA, USA.