

Schelkunoff Birim Çember Yöntemi ile Hüzme Sentezleme Pattern Synthesis with Using Schelkunoff Unit Circle Method

Umut Buluş, Koray Sürmeli, Bahattin Türetken

TÜBİTAK UEKAE Elektromanyetik ve Anten Araştırma Grubu
umut.bulus@tubitak.gov.tr, koray.surmeli@tubitak.gov.tr, bahattin.turetken@tubitak.gov.tr

Özet

Bu çalışmada Schelkunoff birim çember yöntemi kullanılarak dizi antenler için hüzme sentezleme çalışması yapılmıştır. Schelkunoff birim çember yönteminde N elemanlı bir dizi ($N-1$). dereceden polinom biçiminde ifade edilmekte ve hüzmenin sıfır noktaları birim çember üzerine yerleştirilmektedir. Yerleştirilen sıfır noktalarının açı değerleri optimize edilerek yan kulakçık bastırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Abstract

In this study the pattern synthesis for array antennas has been performed by using Schelkunoff unit circle method. An N element array is expressed as an $(N-1)$. degree of polynomial; thus null points of pattern are positioned on unit circle. Side lobe suppressing processes have been performed by means of optimizing the angles of the null points.

1. Giriş

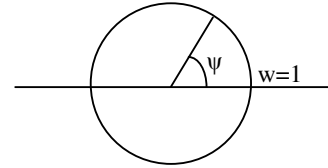
Dizi antenler, istenen ışın diyagramlarının elde edilmesi amacıyla her bir dizi elemanın genlik ve fazlarının belirlenmesiyle elde edilen sistemlerdir [1]. Anten dizileri doğrusal, dairesel, düzlemsel, yüzeye uyumlu, rasgele dizimli gibi farklı geometrik yapılarla oluşturulabilirler. Uygulamalarda öne çıkan önemli ışın özellikleri; ana demetin doğrultusu ve genişliği, yan kulakçık seviyeleri (side lobe level), hüzme tarayabilme ve şekillendirme yeteneğidir. Anten dizileri anten hüzmesini daraltmak, hüzmeyi şekillendirmek, yönlendirmek ve kazancı artırmak için kullanılabilirler. Bu yapılar istenilen bir hüzme şeklini elde etmek için değiştirilebilir. Ayrıca besleme genlik ve fazları ile diziyi oluşturan anten sayıları da değiştirilebilir parametrelerdir. Bir dizinin ışın diyagramı diziyi oluşturan eş elemanların birinin ışın diyagramı ile dizi faktörünün (uzay faktörü) çarpımından elde edilmektedir. Uzay faktörü, yönsüz elemanlardan oluşan benzer bir dizinin ışın diyagramı olarak da ifade edilebilir.

Schelkunoff [2-14] birim çember yöntemi; dizi sentez probleminde matematiksel olarak çözüm getirmiştir. Bu yöntem kullanılarak bir dizinin ışın 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. Bu yöntemde bir anten dizisinin katsayılarını polinom halinde yazıp, polinom üzerinde işlemler yapıldıktan sonra tekrar anten dizisinin besleme katsayılarını belirlemek mümkündür. 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 derece 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



Şekil 1: Schelkunoff birim çemberi.

olması gereken değer birim çember metodu yardımıyla hesaplanabilir. Schelkunoff birim çemberi Şekil 1'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

Burada $\psi = kd\cos\theta + \beta$ ve $w = e^{j\psi}$ dir. θ ise dizinin ışın diyagramının azimut açısıdır. Ayrıca $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, d elemanlar arası mesafe ve β antenin ışın 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 basit işlemleri yapmak yeterlidir. $\beta = 0$ olduğu durum için;

$$\psi_s = kd\cos(0) \quad (1)$$

$$\psi_f = kd\cos(180) \quad (2)$$

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 ışınma diyagramındaki sıfır noktaları $90^\circ, 0^\circ, 180^\circ$ bulunan dört elemanlı bir anten dizisi için besleme genlik ve faz değerlerinin hesaplanması aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\psi_s = kd\cos(0) + 0 = \pi \quad (4)$$

$$\psi_s = kd\cos(0) + 0 = \pi \quad (5)$$

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

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

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

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

Son olarak ışınma 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.

Çizelge 1: Genlik ve faz değerleri

Anten elemanları	1	2	3	4
Genlik	1	1	1	1
Faz	180	180	0	0

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

$$\psi_s = kd\cos(0) = 2\pi \quad (12)$$

$$\psi_f = kd\cos(180) = -2\pi \quad (13)$$

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

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

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

Beş elemanlı bir dizi için elemanlar arası mesafe d en fazla 0.833λ olabilir. Hüzme belirli bir açıya döndürüldüğü durumda ise ızgara kulakçıkların oluşmaması için elemanlar arası mesafe aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$kd(1 + |\cos\theta_0|) = \frac{2\pi N}{N+1} \quad (16)$$

$$\left(\frac{d}{\lambda}\right)_{maks} = \frac{N/(N+1)}{1+|\cos\theta_0|} \quad (17)$$

2.1. Tasarım Çalışmaları

Tasarım çalışması olarak sıfır noktalarının oluştuğu ψ değerleri $\mp 80^\circ, \mp 100^\circ$ ve 180° olan altı elemanlı ve elemanlar arası mesafe dalgaboyunun yarısı olan bir dizinin θ açısı değerleri ile elemanların besleme genlik katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra bulunan besleme genlik katsayıları CST programı ile oluşturulmuş olan bir diziyeye girilerek oluşan ışınma diyagramının sıfır noktaları hesaplama ile karşılaştırılmıştır.

Işınma diyagramında sıfır noktalarının oluşacağı θ açısı değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\psi_1 = kd\cos(\theta_1) = \cos(\theta_1) = \frac{-80}{\frac{360\lambda}{\lambda/2}} = \theta_1 = 116.3^\circ \quad (18)$$

$$\psi_2 = kd\cos(\theta_2) = \cos(\theta_2) = \frac{80}{\frac{360\lambda}{\lambda/2}} = \theta_2 = 63.6^\circ \quad (19)$$

$$\psi_3 = kd\cos(\theta_3) = \cos(\theta_3) = \frac{-100}{\frac{360\lambda}{\lambda/2}} = \theta_3 = 123.7^\circ \quad (20)$$

$$\psi_4 = kd\cos(\theta_4) = \cos(\theta_4) = \frac{100}{\frac{360\lambda}{\lambda/2}} = \theta_4 = 56.2^\circ \quad (21)$$

$$\psi_5 = kd\cos(\theta_5) = \cos(\theta_5) = \frac{180}{\frac{360\lambda}{\lambda/2}} = \theta_5 = 0^\circ \quad (22)$$

Diziyi oluşturan ışınma elemanlarının genlik katsayıları ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f(w) = (w - w_1)(w - w_2)(w - w_3)(w - w_4)(w - w_5) \quad (23)$$

$$f(w) = (w - e^{j180})(w - e^{j80})(w - e^{-j80})(w - e^{j100})(w - e^{-j100}) \quad (24)$$

Son terim 1 olacak şekilde normalizasyon işlemi gerçekleştirilirse

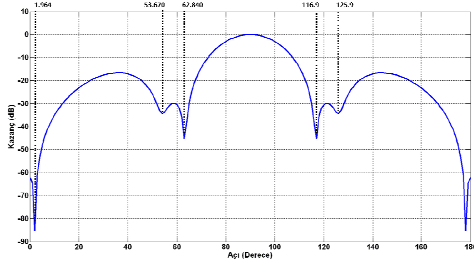
$$f(w) = w^5 + w^4 + 1.8844w^3 + 1.8844w^2 + w + 1 \quad (25)$$

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

Çizelge 2: Genlik ve faz değerleri

	1	2	3	4	5	6
Genlik	1	1	1.8844	1.8844	1	1
Faz	0	0	0	0	0	0

Elde edilen bu genlik ve faz değerleri CST’de oluşturulan bir dipol anten dizisine uygulandığında Şekil 2’deki sonuç elde edilmektedir.



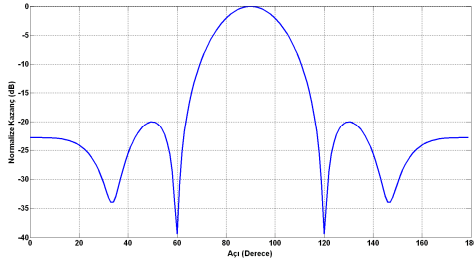
Şekil 2: CST ışın diyagramı.

CST sonucunda görüldüğü gibi ışın diyagramının sıfır noktaları hasapla elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir.

Yan kulakçık bastırma örneği olarak beş elemanlı bir dipol anten dizisi kullanılmıştır. Beş elemanlı bir dizi için ilk yan kulakçık seviyesi -13.7 dB olarak hesaplanmaktadır. -20 dB yan kulakçık seviyesi istenildiğinde 4 adet kökün () bitiş değeri olan 'e yaklaşması gerekmektedir. İlk durumda değerleri biçimindedir. değerleri noktalarına yerleştirildiğinde ilk yan kulakçık seviyesi -18.5 dB sonraki yan kulakçık seviyesi ise -21.3 dB olarak elde edilmiştir. değerleri noktalarına yerleştirildiğinde ise yan kulakçık değerleri -20 dB'nin altına inmektedir. Bu değerleri için diziyi oluşturan elemanların besleme genlik katsayı ve fazları ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Bu genlik katsayıları kullanıldığında elde edilen ışın diyagramı ise Şekil 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3: Genlik ve faz değerleri

	1	2	3	4	5
Genlik	1	1.6	1.95	1.6	1
Faz	0	0	0	0	0



Şekil 3: Yan kulakçık bastırma örneği.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada Schelkunoff birim çember yönteminin özelliklerinden bahsedilmiştir. Birim çember yöntemi kullanılarak dizi anten sentezi ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarla elde edilen değerler CST proqramı ile karşılaştırılmış ve sonuçlar bu şekilde doğrulanmıştır.

4. 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 SystemTech. 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 Superscillatory Antenna Arrays", *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE.*, vol. 9, syf. 315-318, 2010.
- [4] Monorchio, A., Genovesi, S., Bertini, S., Brizzi, A., "An Efficient Interpolation Scheme for the Synthesis of Linear Arrays Based on Schelkunoff Polynomial Method", *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE.*, vol. 6, syf. 484 - 487, 2007.
- [5] Deger, S., Saka, B., "Effect of Mutual Coupling on the Performance of Adaptive Arrays", *Signal Processing and Communications Applications*, 2007, syf. 1-4.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Yu, F., Ronghong, J., Zhengyi, W., Bo, L., Junping, G., "Pattern synthesis of linear arrays using a hybrid optimization algorithm", *7th International Conference on Signal Processing*, 2004, syf. 428-430.
- [9] 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.
- [10] Marciano, D., "Synthesis of Linear And Planar Antenna Arrays Using Genetic Algorithms", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1997, syf. 1688-1691.
- [11] Marciano, D., Duran, F., "Synthesis of Antenna Arrays Using Genetic Algorithms", *Antennas and Propagation Magazine, IEEE.*, vol. 42, syf. 12-20, 2000.
- [12] Marciano, D., Jiminez, M., Chang, O., "Synthesis of Linear Array Using Schelkunoff's Method and Genetic Algorithms", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1996, syf. 814-817.
- [13] Khan, A.A., Brown, A.K., "Wideband Scanning Small Linear Arrays in Presence of Mutual Coupling", *Electronics Letters.*, vol. 46, syf. 270-271, 2010.
- [14] Surmeli, K., Bulus, U., Turetken, B., "Bayliss Fark Işın Diyagramı Senteziyle Elde Edilen Yan Kulakçık Seviyelerinin Schelkunoff Birim Çember Yöntemiyle İyileştirilmesi", *URSI 2012*, Kabul edildi, yayınlanacak.