

Log-Periyodik Antenlerin Dairesel Dizgelerinin Elektrik Alan İntegral Denklemiyle Etkin Çözümü[†]

Özgür Ergül¹ ve Levent Gürel^{1,2}

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

²Bilişimsel Elektromanyetik Araştırma Merkezi (BİLCEM)

Bilkent Üniversitesi

TR-06800, Bilkent, Ankara

E-posta: ergul@ee.bilkent.edu.tr, lgurel@bilkent.edu.tr

Özet: Trapezoidal-dişli düzlemsel-olmayan LP antenlerden elde edilen dairesel dizgeler geliştirilen benzetim ortamında tasarlanmış ve bunların yüksek doğrulukta simülasyonları yapılmıştır. Elektrik alan integral denklemi ve çok seviyeli hızlı çokkutup yönteminin kullanılmasıyla gerçekleştirilen analizler sayesinde dizgelerin frekanstan bağımsızlıkları geliştirilmiş ve ışınımına yönlendirilebilirlik özelliği kazandırılmıştır.

1. Giriş

Log-periyodik (LP) antenler geniş bantlı özelliklerinden dolayı en popüler anten gruplarından biridir. Çok çeşitli LP yapıların tasarımı mümkündür ve LP dipol antenler gibi bunlardan bazıları basitleştirilmiş geometrilere sahiptir. Bu çalışmada, trapezoidal-dişli düzlemsel-olmayan LP antenler ve bunlardan elde edilen dizgeler incelenmiştir. Frekanstan bağımsızlığı artırabilmek için bu antenler üzerinde basitleştirmeler yapılmamış ve LP yapının korunması amaçlanmıştır. Öte yandan, ortaya çıkan karmaşık geometrinin analizi ve tasarımı zorlaşmaktadır. Bu bakımdan, antenler ve dizgeler geliştirilen benzetim ortamında tasarlanmış ve bunların yüksek doğrulukta benzetimleri yapılmıştır. Işınım problemleri çok seviyeli hızlı çokkutup yönteminin (ÇSHÇY) (MLFMA: multilevel fast multipole algorithm) [1] kullanılmasıyla çözülmüştür.

2. Log-Periyodik Antenlerin Elektrik Alan İntegral Denklemiyle Analizi

Şekil 1(a)'da 3 adet LP antenden oluşan dairesel dizge ve Şekil 1(b)'de dizgedeki antenlerin üç boyutlu görüntüsü gösterilmiştir. Dizgeyi oluşturan antenler 300-800 MHz aralığında çalışacak ve bu aralıkta yaklaşık-frekanstan-bağımsız ışınım verecek biçimde tasarlanmışlardır [2]. Bu antenlerin dairesel olarak dizilmesiyle, aynı aralıkta frekanstan bağımsız olarak çalışabilen dizgeler tasarlanmış ve dizge elemanlarına uygun kaynaklar sağlayarak ana huzmenin yönlendirilebilmesi amaçlanmıştır. Öte yandan, birbirlerine yakın olan antenler arasındaki karşılıklı etkileşimlerin frekanstan bağımsızlığı olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu etkileşimlerin detaylı bir şekilde incelenebilmesi için elektrik alan integral denklemi (EAİD) (EFIE: electric-field integral equation) kullanılmıştır.

Antenler mükemmel iletkenler olarak modellenmiş ve yüzeyleri üstünde indüklenen akım Rao-Wilton-Glisson [3] temel fonksiyonları cinsinden açılmıştır. Işınım probleminin EAİD ile ifade edilmesi ve bu denklemin geometri ile birlikte sayısallaştırılması sonucunda

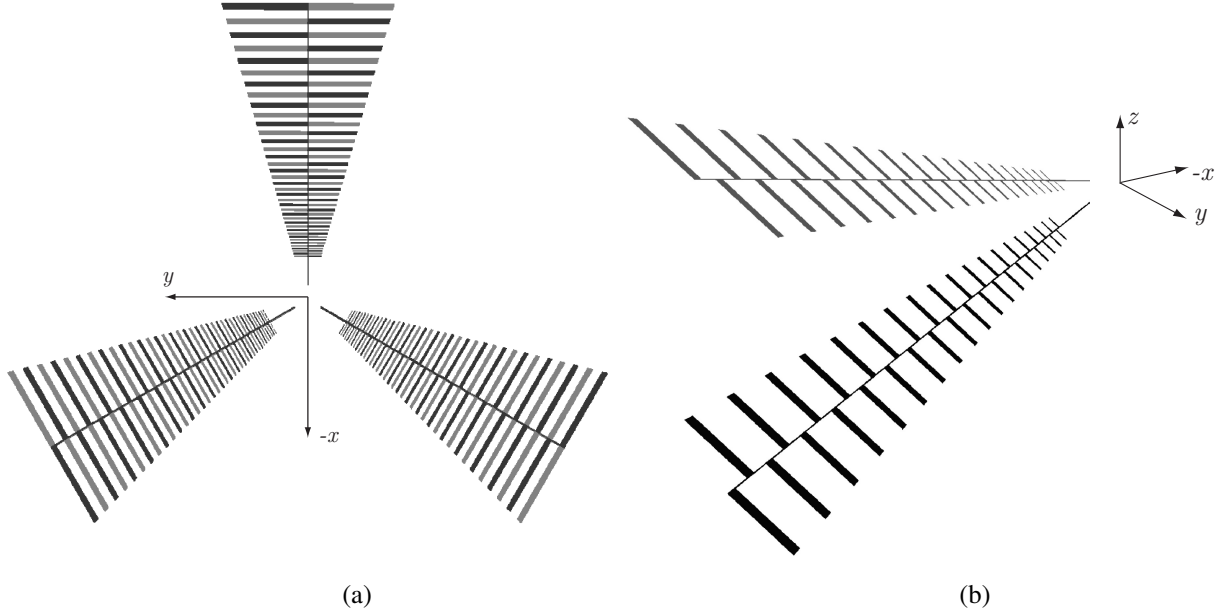
$$\sum_{n=1}^N Z_{mn}^E a_n = v_m^E, \quad m = 1, \dots, N \quad (1)$$

olarak gösterilebilen yoğun matris denklemi elde edilir. Bu denklemde matris elemanları

$$Z_{mn}^E = \int_{S_m} d\mathbf{r} t_m(\mathbf{r}) \cdot \int_{S_n} d\mathbf{r}' \mathbf{b}_n(\mathbf{r}') g(\mathbf{r}, \mathbf{r}') - \frac{1}{k^2} \int_{S_m} d\mathbf{r} t_m(\mathbf{r}) \cdot \int_{S_n} d\mathbf{r}' \mathbf{b}_n(\mathbf{r}') \cdot \left[\nabla \nabla' g(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \right] \quad (2)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada, $t_m(\mathbf{r})$ ve $\mathbf{b}_n(\mathbf{r})$ test ve temel fonksiyonlarını, $g(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ ise boşluğa ait Green fonksiyonunu ifade etmektedir. Ayrıca, k boşluğa ait dalga numarasıdır. Denklem (1)'deki sağ-taraf vektörünün

[†]Bu çalışma, TÜBİTAK (105E172), Türkiye Bilimler Akademisi (LG/TÜBA-GEBİP/2002-1-12), ASELSAN ve SSM tarafından desteklenmektedir.



Şekil 1. (a) Üç adet log-periyodik antenin kullanılmasıyla elde edilen dairesel dizge. (b) Dizge için kullanılan antenlerin üç boyutlu görüntüsü.

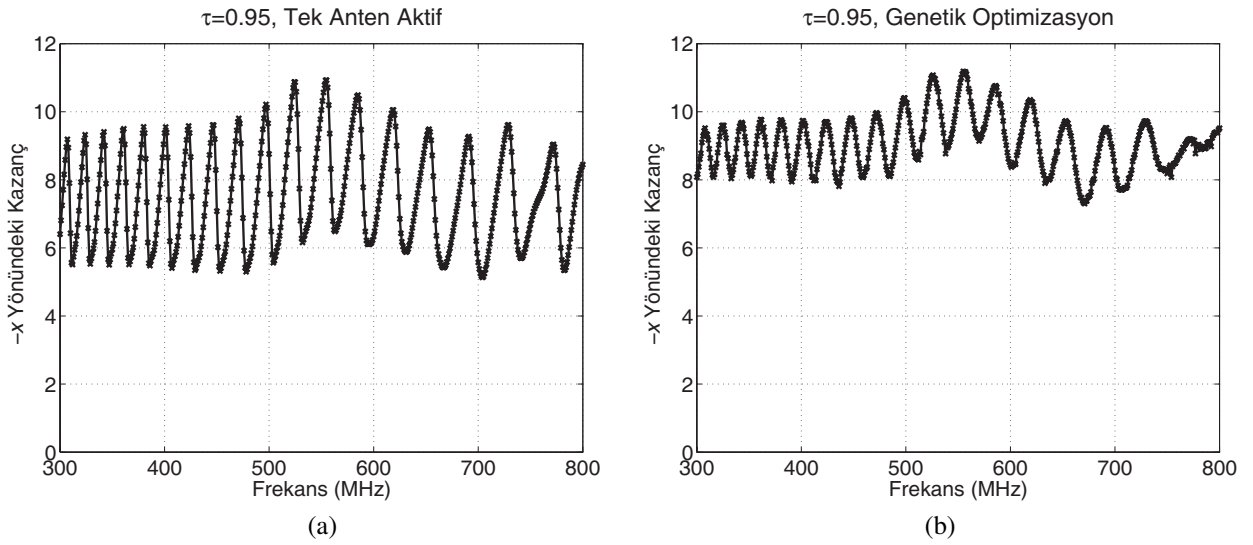
elemanları ise anten kaynaklarının delta-gap modellemelerinden elde edilir. Oluşturulan yoğun matris denkleminin iteratif çözümüyle temel fonksiyonlarının bilinmeyen katsayıları (a_n) hesaplanabilir. Her bir anten veya dizge tasarımı için frekansa bağlı değişimlerin incelenmesi amacıyla yaklaşık olarak 500 ışınım problemi çözülmüştür. Problemlerin bilinmeyen sayıları 10,000 civarında ve göreceli olarak düşük olmasına rağmen, çok sayıda çözümün yüksek doğrulukta yapılabilmesi gerekmiş, bu bakımdan ihtiyaç duyulan hızlandırma ÇSHÇY'den elde edilmiştir.

Tasarlanan dizgeler için anten etkileşimleri sonucunda oluşan olumsuz etkinin azaltılması ve böylece frekanstan bağımsızlığın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, antenlerin kaynaklarının optimizasyonu ile ışınım özelliklerinde iyileştirmeler elde edilmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritmalar geliştirilmiş, maliyet fonksiyonunun hesaplanması için ÇSHÇY ve üstdüşüm teknikleri kullanılmıştır. Örneğin, Şekil 1(a)'da gösterilen dizgede sadece x eksenini üzerinde uzanan antenin çalışması sonucunda elde edilen ışınımın $-x$ yönündeki kazanç frekansa bağlı olarak Şekil 2(a)'da gösterilmiştir. Pasif oldukları halde diğer iki anten yüzünden kazanç 6 ile 10 arasında değişmektedir. Anten kaynaklarının optimizasyonu sonucunda elde edilen kazanç ise Şekil 2(b)'de gösterilmiştir. Optimizasyon sayesinde kazançtaki oynama önemli ölçüde azaltılmıştır.

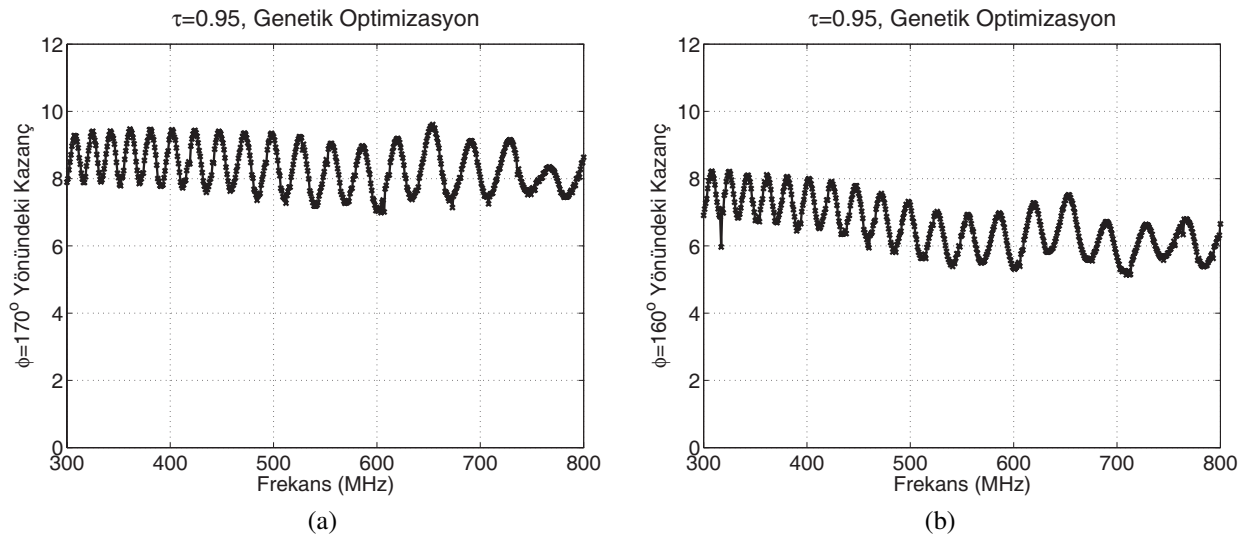
Genetik optimizasyon sonucunda bulunan kaynak değerlerinin Şekil 1(a)'da gösterilen dizgedeki antenler üzerinde dönüşümlü olarak uygulanmasıyla $-x$ ($\phi = 180^\circ$) yönünde elde edilen kazanç $\phi = 60^\circ$ ve $\phi = 300^\circ$ yönlerinde de elde edilebilir. Öte yandan, yüksek kazancın bu yönler etrafında, mümkün olduğunca geniş sektörlerde elde edilmesi de istenilen bir özelliktir. Bu bağlamda, frekanstan bağımsızlığın sağlanmasına ek olarak, ana huzmenin çeşitli yönlere çevirilmesi amacıyla da optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Şekil 3(a) ve 3(b)'de $\phi = 170^\circ$ ve $\phi = 160^\circ$ için yapılan optimizasyonlar sonucunda bu yönlerde elde edilen kazançlar gösterilmiştir. Optimizasyonlar sayesinde $\phi = 180^\circ$ etrafında 40 derecelik sektörde 5.5'in üzerinde kazanç elde edilmiştir. Böylece, kaynak değerlerinin 3 anten için değiştirilerek kullanılmasıyla da $3 \times 40^\circ = 120^\circ$ içinde 5.5'in üzerinde kazanç sağlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] C.-C. Lu ve W. C. Chew, "Multilevel fast multipole algorithm for electromagnetic scattering by large complex objects," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, cilt 45, no. 10, s. 1488–1493, Ekim 1997.
- [2] Ö. Ergül ve L. Gürel, "Elektromanyetik benzetim ortamında genetik algoritmalar kullanarak geniş bantlı log-periyodik anten dizgesi tasarımı," *URSI-Türkiye 2002 Bilimsel Kongresi*, İstanbul, Türkiye, s. 154–157, 2002.
- [3] S. M. Rao, D. R. Wilton ve A. W. Glisson, "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, cilt AP-30, s. 409–418, Mayıs 1982.



Şekil 2. (a) Şekil 1(a)'da gösterilen dizgede x ekseninde uzanan antenin çalışması sonucunda elde edilen ışınımın $-x$ yönündeki kazancı. (b) Anten kaynaklarının optimizasyonu sonucunda elde edilen kazanç.



Şekil 3. Anten kaynaklarının optimizasyonları sonucunda (a) 170° ve (b) 160° yönlerinde elde edilen kazançlar.