

Genetik Algoritmalar ve Çok Seviyeli Hızlı Çokkutup Yöntemi ile Tam-Dalga Elektromanyetik Optimizasyonlar

Can Öno^{1,2}, Özgür Ergül¹

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara

² ASELSAN HBT, Ankara
canonol@aselsan.com.tr

Özet: Bu çalışmada, yüzey integral denklemleri ve çok seviyeli hızlı çokkutup yöntemi (MLFMA) ile tam-dalga elektromanyetik çözümler gerçekleştirebilen bir optimizasyon mekanizması sunulmuştur. Optimizasyonlar için tam-dalga çözümler genetik algoritmalar (GA) ile verimli olarak birleştirilmiştir. Elektromanyetik çözümler ile GA arasında kurulan etkileşim, optimizasyon mekanizmasının hızlı ve yüksek doğrulukta olmasını sağlamaktadır. MLFMA'nın tam-dalga elektromanyetik çözümlerde doğruluk kontrolü yapabilmesi sayesinde, optimizasyon süresince yapılan tam-dalga çözümlerinin hızları ve doğrulukları seçilebilmektedir. Optimizasyon mekanizmasının kabiliyetleri, istenilen odaklama özelliğini gösterebilen metal yüzeyler, istenilen yakın-alan iletim özelliklerine sahip fotonik kristal yapılar ve çeşitli antenler gibi farklı problemler üzerinden gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen optimizasyon mekanizmasının performansını kanıtlamaktadır.

Abstract: In this study, an electromagnetic optimization environment based on full-wave solutions using the surface integral equations and the multilevel fast multipole algorithm (MLFMA) is presented. Full-wave solvers are efficiently combined with genetic algorithms (GA) for the optimizations. The interactions between MLFMA and GA are designed to make the optimization mechanism both efficient and accurate. MLFMA provides accuracy control over the solutions, which makes it possible to choose efficiency and accuracy during optimizations. The capabilities of the optimization mechanism are demonstrated on different problems, such as metallic surfaces for focusing, photonic crystals for desired electromagnetic responses, and various antennas. The results prove the high performance of the developed optimization mechanism.

1. Giriş

Elektromanyetik optimizasyon problemlerinin çözümünde genetik algoritmalar (GA) ve tam-dalga çözümlerinin birlikte kullanımı, sağladığı önemli avantajlar sebebiyle literatürde giderek popüler hale gelmektedir [1]. Optimizasyon mekanizmalarının verimli olması için, elektromanyetik çözümlerin doğru ve hızlı yapılabilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, kullanılan optimizasyon metodlarının da farklı yapılarıdaki problemlere uygulanabilecek şekilde esnek olması ve çok geniş optimizasyon kümelerini etkili biçimde tarayabilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, elektromanyetik çözümlerin doğru ve hızlı yapılabilmesi amacıyla tam-dalga çözümleri yapabilen çok seviyeli hızlı çokkutup yöntemi (MLFMA) kullanılmıştır [2]. Elektromanyetik problemlerin çözümlerinde, mükemmel iletken yapılar için elektrik-alan integral denklemi (EFIE) ve birleşik-alan integral denklemi (CFIE), diyelektrik yapılar için ise birleşik teğet formülasyonu (CTF) ve elektrik-manyetik akımı birleşik-alan integral denklemi (JMCFIE) kullanılmıştır. Ele alınan elektromanyetik yapıya uygun denklemlerle modellenen problemler, Rao-Wilton-Glisson (RWG) fonksiyonlarıyla ayrıştırılmıştır. Optimizasyon mekanizmasında kullanılan metodun, farklı problemlere kolaylıkla uyarlanabilmesi, çok-amaçlı optimizasyonları yapabilmesi ve paralel hesaplama olanağı tanıması gerekmektedir. Bu sebeple, keşifsel optimizasyon metodlarından olan GA geliştirilerek kullanılmıştır. Optimizasyon mekanizmasının performansı, farklı elektromanyetik problemler üzerinde gösterilmiştir.

2. Optimizasyon Mekanizması

GA ve MLFMA literatürde detaylı olarak bilindiğinden, bu çalışmada özellikle GA ve MLFMA arasındaki etkileşimlerin optimizasyon performansına olan etkileri üzerinde durulmuştur. Optimizasyon mekanizması Şekil

Bu çalışma, TÜBİTAK (113E129, 114E498) ve Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA-GEBİP-2015) tarafından desteklenmektedir.

1'deki şema ile gösterilmiştir. Optimizasyon hedefi ve parametreleri belirlenip GA içinde ayarlandıktan sonra GA çözüm önerisini MLFMA çözücüsüne sunmaktadır. Elektromanyetik bir probleme karşılık gelen bu önerinin MLFMA tarafından tam-dalga çözümü yapılmakta ve optimizasyon hedefine göre bu öneriye bir uygunluk değeri atanmaktadır. Bu doğrultuda, GA sunduğu önerilerin uygunluk değerlerini yorumlayarak daha iyi öneriler sunmaya çalışmaktadır. Optimizasyon hedefine ulaşıncaya kadar da bu döngü devam etmektedir. Optimizasyon hızını optimizasyon kalitesinden ödün vermeden yükseltebilmek için GA ve MLFMA arasındaki etkileşimi düzenleyen bir optimizasyon karar mekanizması (OKM) kullanılmıştır. Optimizasyon süresince denenen öneriler ve bunlara atanan uygunluk değerleri OKM içerisinde saklanmaktadır. Böylece, GA'nın aynı önerileri sunması durumunda, MLFMA çözümü yapılmadan, gereken sonuç OKM tarafından verilmektedir. Ayrıca, OKM birbirine benzeyen denemeler için daha önceden yapılmış bir MLFMA çözümü varsa bu çözümü ilk tahmin olarak kullanılabilmekte ve tam-dalga çözümünün daha hızlı yakınsamasına olanak sağlamaktadır. Son olarak, OKM optimizasyon performansını yorumlayarak, optimizasyonun hedefine yakınsayamadığını veya GA popülasyonlarındaki çeşitliliğin çok azaldığını gördüğü durumlarda, dinamik GA operasyonları uygulayarak popülasyon çeşitliliğini artırıp optimizasyonun performansını yükseltebilmektedir.



Şekil 1. Geliştirilen optimizasyon mekanizması.

MLFMA çözücüsünün tam-dalga çözümler üzerinde dinamik doğruluk kontrolü sağlayabilmesi avantajı da OKM tarafından kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, MLFMA'nın yaklaşık formları, çözümlerin doğruluğundan belirli oranda feragat edilmesiyle hızlanmayı sağlamaktadır [3]. Optimizasyon hızının görece daha kritik olduğu problemlerde, OKM MLFMA'nın yaklaşık formlarını optimizasyon boyunca doğrudan kullanılabilmektedir. Alternatif olarak, yapılacak çözümün doğruluğunu seçme kararı da GA'ya bırakılıp, yapılacak çözümün doğruluğu da bir optimizasyon parametresi olarak kullanılabilmektedir [3].

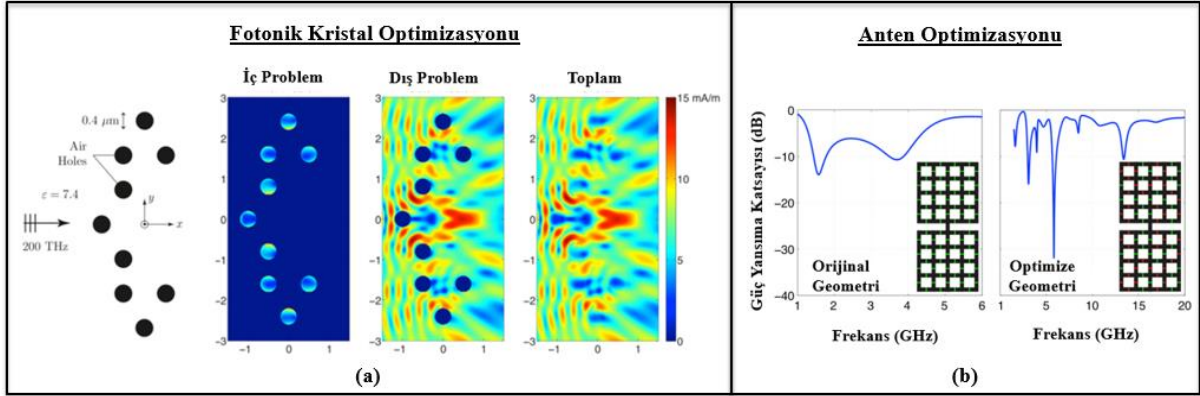
3. Sayısal Örnekler

Bu çalışmada geliştirilen optimizasyon mekanizması, birbirinden bağımsız, farklı problemler üzerinde kullanılmış ve elde edilen sonuçların bazıları bu bildiriye sunulmuştur. Şekil 2(a)'da 200 THz'de dik düzlem dalga ile aydınlatılan fotonik kristal dizgesinin istenilen yakın-alan özelliklerini sağlayabilmesi amacıyla yapılan optimizasyonları gösterilmiştir. Optimizasyonlarda, fotonik kristalleri oluşturan çubukların veya deliklerin yerleri optimizasyon parametresi olarak GA tarafından kullanılmıştır. Bu kapsamda 4x7'lik fotonik kristal dizgesi ile optimizasyona başlanılmış, optimizasyon sonunda Şekil 2(a)'da gösterilen yapı elde edilmiş ve optimizasyon hedefine ulaşılmıştır.

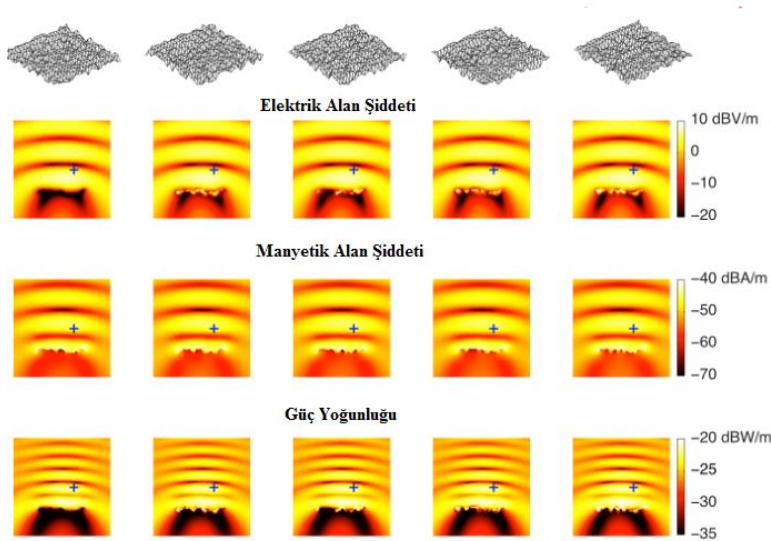
Şekil 2(b)'de ise $1.3\lambda \times 0.6\lambda$ boyutlarındaki bir örgü anten, 5.8 GHz'de hava ortamında minimum güç yansımaya katsayısı sağlayacak şekilde optimize edilmiştir. Bu örnekte GA, optimizasyon parametresi olarak örgü anten üzerindeki bağlantıları kullanmakta ve bağlantıların açık/kapalı olacak şekilde ayarlanması sayesinde antenin geometrisi değiştirilerek istenilen hedefe ulaşılmaktadır. Bağlantıların kopartılabilmesi için sayısal olarak ilgili bağlantıya karşılık gelen RWG fonksiyonları kaldırılmakta, kalan tüm katsayılar ise iteratif çözümlerle bulunmaktadır. 4000 tam-dalga çözümü yapılan bu optimizasyon 13 saatte tamamlanabilmektedir. Şekil 2(b)'de gösterilen ve optimizasyon sonucunda elde edilen anten geometrisine ait güç yansımaya katsayısı grafiği, optimizasyonun başarılı olarak tamamlandığını göstermektedir.

Son olarak, Şekil 3'te $\lambda \times \lambda$ boyutlarındaki mükemmel iletken levhaların şekillendirme optimizasyonları ile elde edilen geometriler ve bunlara karşılık gelen elektrik ve manyetik alan şiddetleri ile güç yoğunluğu grafikleri gösterilmiştir. Bu optimizasyonların amacı, metal levha dik düzlem dalga ile aydınlatıldığında, levha yüzeyinin

deforme edilerek istenilen bölgelerde güç yoğunluğunun artırılmasıdır. Optimizasyon sonucunda güç yoğunluğunun istenildiği gibi $(x,y,z) = (0,0.25\lambda,0.5\lambda)$ noktasında yükseltildiği açıkça gözlemlenmektedir.



Şekil 2. (a) Yakın-alan özellikleri için optimize edilmiş olan fotonik kristal dizgesi (b) 5.8 GHz'de 50Ω 'a uyum sağlaması için optimize edilmiş olan örgü anten geometrisi ve yansımaları.



Şekil 3. Güç yoğunluğunu $(x,y,z) = (0,0.25\lambda,0.5\lambda)$ koordinatlarındaki noktada toplayabilmek için optimize edilmiş $\lambda \times \lambda$ metalik yüzeyler.

4. Sonuç

MLFMA ve GA tabanlı, tam-dalga çözümleri yapabilen bir elektromanyetik optimizasyon mekanizması geliştirilmiştir. Optimizasyon mekanizmasının farklı problemlere kolayca uygulanabilmesi, çok geniş optimizasyon kümelerini etkili biçimde tarayabilmesi, ve tam-dalga çözümlerinin doğru ve hızlı yapılabilmesi sayesinde, farklı elektromanyetik problemler, istenilen hedefler doğrultusunda başarılı olarak optimize edilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar, GA ve MLFMA arasındaki etkileşimin verimli olarak tasarlanmasının önemini ve avantajlarını da göstermektedir.

Kaynaklar

- [1]. Rahmat-Samii Y. ve Michielssen E., Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms, Wiley, 1999.
- [2]. Ergül Ö. ve Gürel L., The Multilevel Fast Multipole Algorithm for Solving Large-Scale Computational Electromagnetics, Wiley, 2014.
- [3]. Önel C., Karaosmanoğlu B., ve Ergül Ö., "Efficient and accurate electromagnetic optimizations based on approximate forms of the multilevel fast multipole algorithm", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, cilt.15, 2016.
- [4]. Önel C., Karaosmanoğlu B., ve Ergül Ö., "Antenna switch optimizations using genetic algorithms accelerated with the multilevel fast multipole algorithm", IEEE Antennas and Propagation Soc. Int. Symp., s.1338-1339, 2015.