

**PERİYODİK YAPILARDAKİ AÇIKLIK/BASKI ANTENLERDEN
IŞIMANIN SAYISAL VE ASİMPOTİK TEKNİKLERLE ANALİZİ**

**ANALYSIS OF THE RADIATION FROM APERTURE/PRINTED
ANTENNAS IN THE PRESENCE OF PERIODIC STRUCTURES
THROUGH NUMERICAL AND ASYMPTOTIC TECHNIQUES**

Proje No: 107E293 (CNR-TÜBİTAK)

Doç.Dr. Özlem Aydın Çivi
Ramazan Çetin

Prof. Dr. Paolo Nepa
Prof. Dr. Giuliano MANARA

NİSAN 2010
ANKARA

ÖNSÖZ

107E293 projesi kapsamında, yakınında saçıcılar bulunan periyodik yapıların (anten dizisi, frekans seçici yüzey vb) elektromanyetik ışıma ve saçınım analizinin etkin bir şekilde yapılmasını sağlayacak analitik ve sayısal yöntemler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu proje, CNR-TÜBİTAK ikili anlaşması çerçevesinde Pisa Üniversitesi öğretim üyeleri ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerinden oluşan bir ekiple ortak yürütülmüştür. Proje TÜBİTAK ve CNR tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	2
ŞEKİL LİSTESİ.....	4
ÖZET	6
ABSTRACT	7
1. Giriş.....	8
2. Üçgen Kafes Yerleşimli Altıgen Dizinin Akım Dağılımları	11
3. Yakınında Saçıcı Bulunan Büyük Anten Dizilerinin Analizi için Melez Yöntem Geliştirilmesi Çalışmaları	16
3.1 Doğrusal Dizinin Asimptotik UTD Analizi	16
3.2 Yakınında Saçıcı Bulunan Anten Dizisi Analizinde Akım Dağılımının Ayrık Fourier Dönüşümünün Kullanımı.....	23
3.2.1. Sayısal Örnekler	24
3.3 DFT-UTD-MoM Algoritması	33
4. Sonuç.....	36
5. REFERANSLAR.....	38
Ek.1 Proje Kapsamında Yapılan Yayınlar ve Tezler	40

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Yakın alanında Mükemmel İletken (PEC) saçıcı bulunan sonsuz uzunluktaki akım çubuklarından oluşan $2N+1$ elemanlı anten dizisi.....	10
Şekil 2. Üçgen kafes yerleşimli altıgen dizi geometrisi.....	11
Şekil 3. 1200 dipol antenden oluşan dizinin akım dağılımı ve ayrık Fourier dönüşümü.....	13
Şekil 4. 1200 elemanlı birbiçimli beslenmiş altıgen dipol dizisinin $\phi=0$ düzlemindeki ışınma örüntüsü.....	14
Şekil 5. 1200 elemanlı \cos^2 dağılımıyla beslenmiş altıgen dipol dizisinin $\phi=0$ düzlemindeki ışınma örüntüsü.....	14
Şekil 6. Serbest uzayda sonsuz uzunluktaki akım çubuklarından oluşan $2N+1$ elemanlı anten dizisi.....	16
Şekil 7. Uzamsal bölge ile ilgili yapılan parametere değişimleri.....	18
Şekil 8: Floquet dalga analizinin fiziksel yorumu.....	22
Şekil 9. Mükemmel İletken (PEC) silindirik saçıcı varken ve yokken elde edilmiş uzak alan örüntüleri.....	25
Şekil 10. PEC silindirik saçıcı varken ve yokken bir biçimli beslenen 51 lik anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve akım dağılımının DFT'si.....	25
Şekil 11. Farklı sayılarda DFT katsayıları ile hesaplanmış (a) uzak alan ($\rho=1250\lambda$), (b) yakın alan ($\rho=100\lambda$) örüntülerinin referans çözümlerle (eleman eleman toplayarak elde edilmiş) karşılaştırılması.....	26
Şekil 12. Mükemmel İletken (PEC) silindirik saçıcı varken ve yokken elde edilmiş uzak alan örüntüleri.....	28
Şekil 13. PEC silindirik saçıcı varken ve yokken Taylor dağılımı ile beslenen 21 lik anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve akım dağılımının DFT'si.....	28
Şekil 14. Farklı sayılarda DFT katsayıları ile hesaplanmış (a) uzak alan ($\rho=200\lambda$), (b) yakın alan ($\rho=4.25\lambda$) örüntülerinin referans çözümlerle (eleman eleman toplayarak elde edilmiş) karşılaştırılması.....	29

Şekil 15. Mükemmel İletken (PEC) silindirik saçıcı varken ve yokken elde edilmiş uzak alan örüntüleri	31
Şekil 16: PEC silindirik saçıcı varken ve yokken bir biçimli beslenen 21 lik anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve akım dağılımının DFT'si.....	31
Şekil 17: Farklı sayılarda DFT katsayıları ile hesaplanmış (a) uzak alan ($\rho=200\lambda$), (b) yakın alan ($\rho=4.25\lambda$) örüntülerinin referans çözümlerle (eleman eleman toplayarak elde edilmiş) karşılaştırılması	32

ÖZET

Proje kapsamında, yakınında saçıcıların bulunduğu elektriksel olarak büyük anten dizilerinin ışınma/saçınma problemini etkin bir şekilde analiz etmek için bir yöntem geliştirmek üzere çalışmalar yapılmıştır. Bu yöntem elektriksel olarak büyük dizilerin asimptotik ışın alan gösterimine ve dizi akımlarının Ayrık Fourier Dönüşüm ifadelerine dayanmaktadır. Gerçekçi anten dizilerinin üzerindeki akım dağılımının Ayrık Fourier Dönüşümünün, dizinin yakınında saçınmaya yol açabilecek nesnelere olduğu durumda bile, belli bir bölgede yoğunlaşmış olduğu gösterilmiştir. Yakınında saçıcılar bulunan büyük anten dizilerinden ışın alanların, Kırınımın Birbiçimli Teorisi (Uniform Theory of Diffraction - UTD) tekniği kullanılarak analizi yapılmıştır. Akımların Ayrık Fourier Dönüşümünün bir bölgede yoğun olmasını ve büyük dizilerin UTD analizini kullanan etkin bir Momentler Yöntemi (MoM) algoritması önerilmiştir. Önerilen yöntem 2 boyutlu bir probleme uygulanmıştır: Yakınında sonsuz uzunlukta mükemmel iletken silindir olan sonsuz uzunluktaki akım elemanlarından oluşan doğrusal diziden ışınma problemi. Yöntemin doğruluğu ve etkinliği sayısal örnekler üzerinden tartışılmıştır.

Saygın konferanslarda iki bildiri sunulmuştur. Ayrıca, proje kapsamında bir Master tezi çalışması başlatılmıştır ve bu tez çalışması süreci hala sürmektedir.

Anahtar Kelimeler: büyük dizi antenler, momentler yöntemi, dizilerin asimptotik analizi

ABSTRACT

In this project, an efficient method for the analysis of electromagnetic scattering/radiation from the obstacles nearby electrically large array antennas, with nonuniform excitation, has been developed. The approach is based on the combination of a ray field representation of electrically large arrays and a DFT (Discrete Fourier Transform) based representation of array current distribution. It has been shown that, the DFT expansion of current distribution of realistic arrays is very compact even in the presence of nearby scattering object. UTD (Uniform Theory of Diffraction) analysis of radiation from large arrays in the presence of nearby scattering object is developed. An efficient Method of Moments (MoM) algorithm which uses both the compactness of DFT of currents and UTD analysis of large arrays has been proposed. The proposed method has applied to a 2D problem: Radiation of a linear array of $2N+1$ infinitely long current elements with tapered current distribution in the presence of an infinitely long PEC (Perfect Electric Conductor) cylinder. Accuracy and efficiency of the method have been discussed by numerical examples.

Two conference papers have been presented in well known Conferences. Furthermore, one Master's Degree Thesis work has been initiated in the frame of this project and it is in progress now.

Key Words: Large antenna arrays, method of moments, asymptotical analysis of arrays

1. Giriş

Bu raporda, CNR-TÜBİTAK ikili anlaşması çerçevesinde Pisa Üniversitesi öğretim üyeleriyle ortak yürütülmüş olan “Analysis of the Radiation from Aperture/Printed Antennas in the Presence of Periodic Structures Through Numerical And Asymptotic Techniques (Periyodik Yapılardaki Açıklık/Baskı Antenlerden Işımanın Sayısal Ve Asimptotik Tekniklerle Analizi)” başlıklı projede yapılan çalışmalar sunulmaktadır. Proje kapsamında, yakınlarında saçıcı yapılar bulunan periyodik yapıların (anten dizisi, frekans seçici yüzey vb) elektromanyetik ışınım ve saçınım analizinin etkin bir şekilde yapılmasını sağlayacak analitik ve sayısal yöntemler üzerinde çalışılmıştır.

Binlerce elemandan oluşan elektriksel boyutu çok büyük periyodik yapıların analiz ve sentezi güçtür. Elektriksel boyutların büyük olması, problemdeki bilinmeyen sayısının çok artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ya problem çözülememekte ya da çok fazla hesaplama zamanı ve bellek kullanımı gerektirmektedir. Periyodik yapıların analizinde karşılaşılan bir diğer önemli problem ise söz konusu yapının yakınında bulunan platform, direk, anten kulesi vb diğer saçılmaya neden olacak yapılardır. Bu yapıların varlığı dizinin performansını etkileyecektir. Bu nedenle, tasarım yapılırken bu saçıcı yapıların varlığı da hesaba katılmalıdır. Bu da problem formülasyonundaki bilinmeyen sayısını çok fazla arttıracaktır. Periyodik yapılar olan frekans seçici yüzey (FSS) ya da radomların yakınında bulunan antenler, ya da EBG (Elektromagnetic band gap), meta malzeme vb periyodik yapıların üzerinde yer alan antenlerin ışınım/saçınım problemleri de periyodik anten dizilerinin yakınında bulunan saçıcı yapılar da bu kapsamda ele alınabilir. Bu çalışmada bu tür problemlerin etkin çözümü için melez bir yöntem geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılması amaçlanmıştır. Melez bir yöntem önerilmesinin nedeni, sayısal yöntemlerle analitik yöntemleri birleştirip daha kısa zamanda hesaplama yapabilen bir yöntem geliştirmektir. Bu çalışmada önerilen melez yöntem, büyük anten dizilerinin ışın teknikleriyle yapılan analizinin, dizi akım dağılımının Ayırık Fourier Dönüşümüyle (DFT) birlikte kullanımına dayanmaktadır.

Proje ekibinin, periyodik yapıların analiziyle ilgili 1998 yılından bu yana ayrı ayrı ve birlikte yaptığı çeşitli çalışmalar vardır, (AYDIN ÇİVİ 2000, 2003, BAKIR 2008, BERTONCINI 2004, CHOU 2002, MANARA 2005, NEPA 1999). Bu projede de bu çalışmalar temel alınarak, yakınında saçıcılar bulunan anten dizilerinden ışınım/saçınım probleminin etkin analizi için yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Anten dizileri üzerindeki gerçekçi akım dağılımının Ayırık Fourier Dönüşümünde, birkaç baskın katsayı dışındaki katsayıların sıfır ya da sıfıra çok yakın

olduğu dikdörtgensel sınırlara sahip dikdörtgen ızgaranın kesişim noktalarına yerleştirilmiş anten dizileri için (NEPA 1999) da gösterilmiştir. Bu projede ilk olarak daha karmaşık yapıdaki anten dizilerinin akım dağılımlarının DFT'sinin de benzer bir şekilde küçük bir bölgede yoğunlaştığı gösterilmiştir. Üçgen kafes şeklinde dizilmiş altıgen dizinin DFT analizi ve UTD (Uniform Theory of Diffraction) yöntemi kullanılarak hesaplanmış ışınma alanları Bölüm 2'de verilmiştir.

Bu projede yakınında saçıcı bulunan anten dizilerinin analizi için önerilen yöntemin temel dayanak noktaları şu şekilde açıklanabilir: Anten dizisinin alan hesabında akımların Fourier dönüşümü yapıldıktan sonra elde edilen ifadede, her bir önemli DFT katsayısı için alanlar, birbiriyle (uniform) beslenmiş dizilerin yarattığı alanlar olarak düşünülebilir, dolayısıyla her bir DFT katsayısı için Asimptotik UTD analizi yapılarak diziden ışınma/saçınma alanları kolayca birkaç terimle ifade edilebilecek şekilde hesaplanabilir, (NEPA 1999). Periyodik yapının yakınına yerleştirilmiş bir anten ya da yapının, periyodik yapıyla etkileşimi, düzlemsel diziyi, doğrusal dizilerin dizisi şeklinde düşünerek, her bir doğrusal dizinin UTD analizi sonuçları kullanılarak daha az bilinmeyenle kolayca hesaplanabilir.

Önerilen yöntem, Şekil 1'de gösterilen iki boyutlu yapıya uygulanmıştır. Burada geometri, anten kulesi ya da direğine takılmış bir diziyi benzetilerek seçilmiştir. Bölüm 3.1'de problemdeki sonsuz uzunluktaki akım çubuklarından oluşan büyük doğrusal dizinin UTD ışın tekniğiyle analizi anlatılmıştır. Bölüm 3.2'de ise, sonsuz uzunlukta mükemmel iletken silindirin yakınına yerleştirilmiş sonsuz uzunlukta akım çubuklarından oluşan dizinin akım dağılımının ayrı Fourier dönüşümü (DFT) katsayılarından önemli büyüklükte olan birkaç tanesi kullanılarak elektrik alan hesapları yapılmış ve bunlar referans çözümle karşılaştırılarak elde edilen sonuçların doğruluğu tartışılmıştır. Az sayıda DFT katsayısı kullanılarak doğruluğu yüksek çözümler elde edilebileceği görülmüştür.

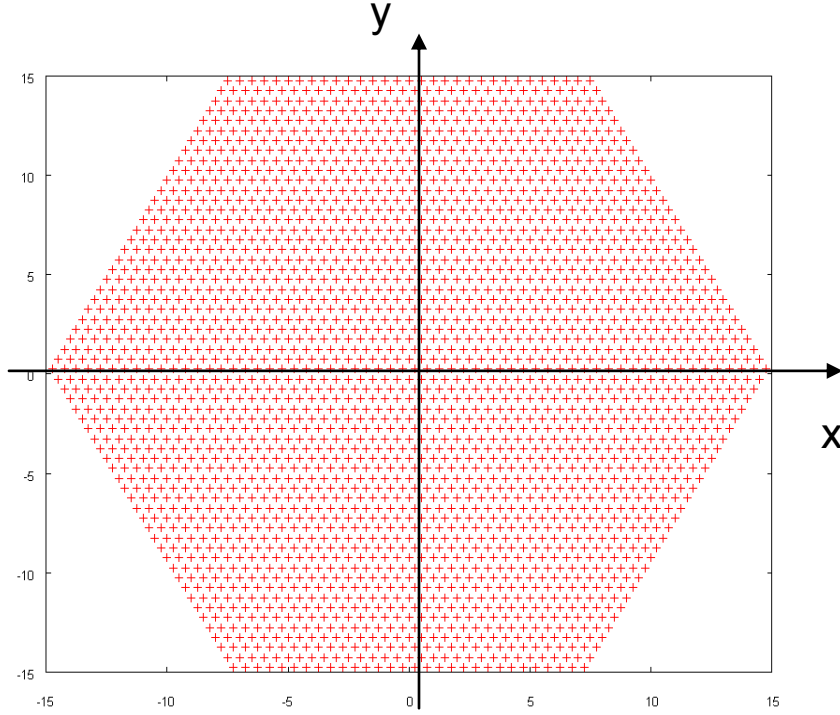
Bölüm 3.3'de DFT VE UTD yaklaşımlarını kullanarak geliştirilen MoM algoritması özetlenmiştir.

Bu proje kapsamında çıkan yayınların listesi Ek 1'de verilmiştir (SERRA 2008, ÇETİN 2009).

Proje süresince İyalya'daki ortaklarımızla proje çalışmalarını tartışmak için Pisa Üniversitesine iki çalışma seyahati yapılmıştır.

2. Üçgen Kafes Yerleşimli Altıgen Dizinin Akım Dağılımları

Bu çalışmada, elemanları üçgen kafes yapısı şeklinde dizilmiş olan altıgen anten dizisinin analizi yapılmış, akımlar bulunmuş, akım dağılımının DFT açılımı yapılarak diziden ışıyan alanlar UTD (Uniform Theory of Diffraction) yöntemiyle hesaplanmıştır. Burada düzlemsel dizi, doğrusal dizilerin dizisi şeklinde ifade edilerek, doğrusal dizinin UTD ışın ifadeleri kullanılmıştır, (CUCINI 2006). İncelenen anten dizi geometrisi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Üçgen kafes yerleşimli altıgen dizi geometrisi

UTD analizinde, anten elemanları üzerindeki akım dağılımı birbiriçimli olarak varsayılmaktadır. Elde edilen alan ifadeleri anten elemanlarından uzak noktalar için, elemanlara yarım dalga boyu yakınlığa kadar geçerli ifadelerdir. UTD alan çözümleri, anten dizisinin yakın ve uzak alanlarının hızlı bir şekilde hesaplanmasını sağlamakta, ayrıca ışın mekanizmasına fiziksel açıklama getirmektedir. Geleneksel hesaplama yöntemlerinde her bir elemandan gelen katkı ayrı ayrı toplanmaktadır, oysa ki UTD analizinde birkaç ışın katkısının toplanması yeterli olmaktadır, (AYDIN ÇİVİ 2000). Bunlar düzlemsel dizi için, sonsuz diziye karşılık gelen baskın Floquet alanı, kenarlardan ve köşelerden kırılan alanlar olarak özetlenebilir. Özellikle uzak alan hesaplamalarında yalnızca köşelerden gelen katkıları almak yeterli olmaktadır. Doğrusal diziler

de ise UTD analizi sonucu elde edilen alan, sonsuz diziye karşılık gelen baskın Floquet alanı ve kenarlardan kırılan alanların toplamı şeklinde yazılabilir.

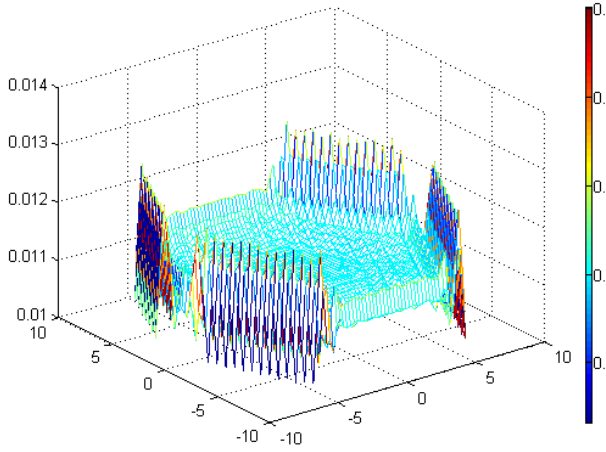
UTD analizinde elemanlar üzerindeki akımların aynı olduğu varsayılır; fakat bu varsayım gerçek anten dizileri için, -besleme birbçimli olsa bile-, doğru değildir. Özellikle kenarlara yakın elemanların üzerindeki akım dağılımları birbirinden farklı olmaktadır. Gerçekçi akım dağılımlarının ayırık Fourier dönüşümüne bakıldığında, bunun belli bir bölgede yoğunlaştığı, yani yalnızca birkaç dönüşüm katsayısının önemli olduğu diğerlerinin sıfıra çok yakın olduğu gözlenmektedir. Alan hesaplama ifadesinde akımın kendisi yerine Fourier dönüşümü kullanıldığında her bir DFT katsayısına karşılık gelen terimin birbçimli akım dağılımına ve doğrusal faza sahip bir diziden ışımaya karşılık geldiği görülür. Bu da bize her bir DFT terimi için dizi UTD alan ifadelerini kullanma olanağı verir. Akımların DFT'si belli bir noktada yoğunlaştığı için, önemli olan birkaç Fourier katsayısına karşılık gelen UTD katkılarının toplanmasıyla yakın ve uzak alanlar etkin bir şekilde hesaplanabilir.

Daha açık olarak göstermek istersek, aşağıdaki denklemde elektrik alan her bir elemanın alanının toplamı şeklinde yazılmıştır, daha sonra akımların DFT dönüşümü akımlar yerine konularak son ifade elde edilmiştir. Burada köşeli parantez içindeki terim, $2N+1$ elemanlı birbçimli akım dağılımına ve doğrusal faza sahip dizinin alan ifadesidir ve UTD gösterimi ile daha az terimle ifade edilebilir.

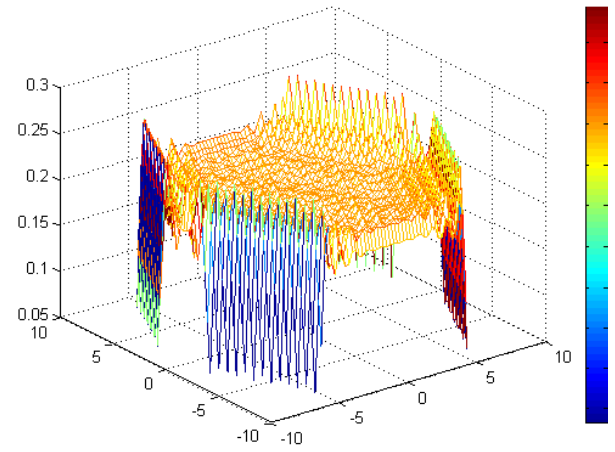
$$\begin{aligned}\underline{E}^{tot}(\underline{r}) &= \sum_{n=-N}^N I_n \underline{E}^{el}(\underline{r}_n, \underline{r}) = \sum_{n=-N}^N \left(\sum_{k=-N}^N \tilde{I}_k e^{-j2\pi \frac{kn}{(2N+1)}} \right) \underline{E}^{el}(\underline{r}_n, \underline{r}) = \\ &= \sum_{k=-N}^N \left[\sum_{n=-N}^N \tilde{I}_k e^{-j2\pi \frac{kn}{(2N+1)}} \underline{E}^{el}(\underline{r}_n, \underline{r}) \right]\end{aligned}$$

Bu denklemde \underline{E}^{el} tek bir dizi elemanının alanı, I_n dizi akım katsayıları, \tilde{I}_k akımların DFT katsayılarıdır.

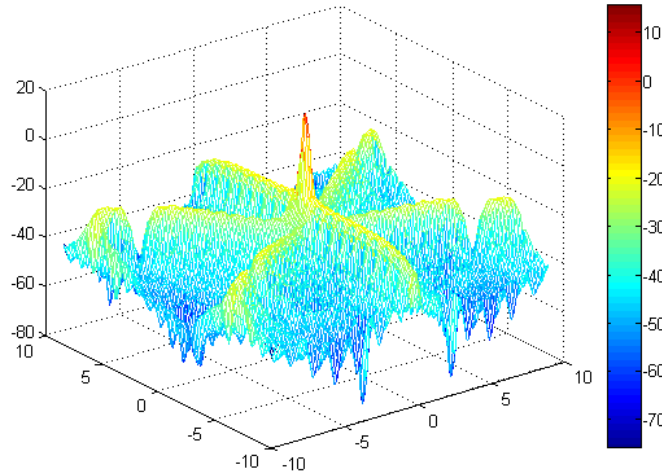
Gerçek akım dağılımlarının ayırık Fourier dönüşümlerinin belli bir bölgede yoğunlaştığı bir örnekle gösterilebilir. 1200 dipol antenden oluşan birbçimli beslenmiş üçgen yerleştirilmiş altıgen dizi için akım dağılımları MoM - Momentler yöntemiyle hesaplanmıştır. Burada elemanlar arası uzaklık her iki yönde de dalgaboyunun yarısı kadar alınmıştır. Hesaplanan akım dağılımları ve ayırık Fourier dönüşümü Şekil 3'de verilmiştir.



(a) Akım genlikleri



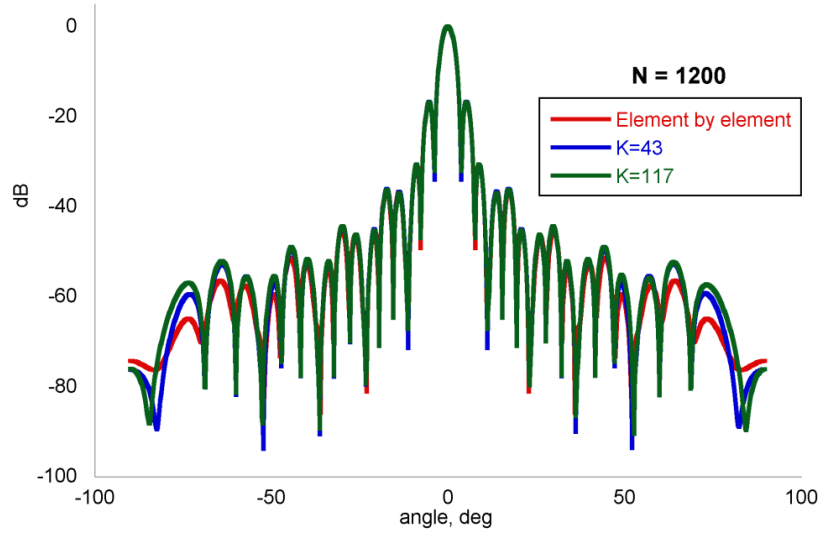
(b) Akım fazları



(c) Akım dağılımının ayrık Fourier dönüşümü

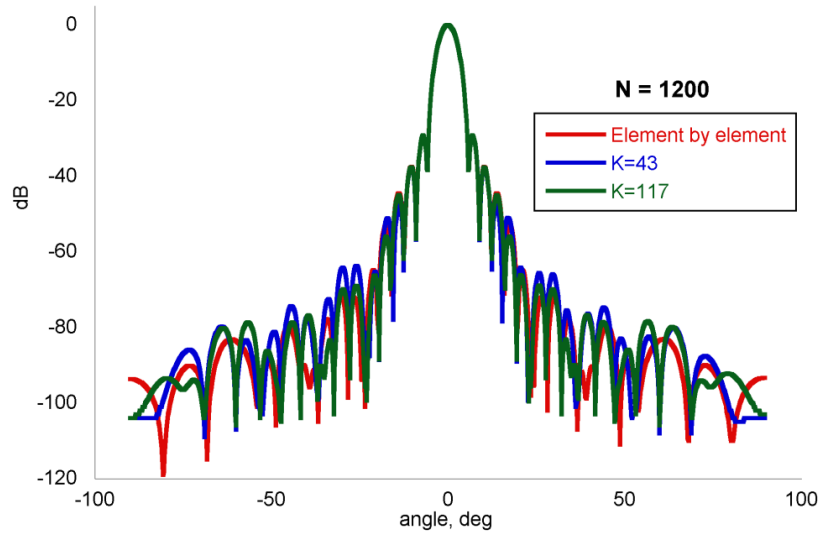
Şekil 3. 1200 dipol antenden oluşan dizinin akım dağılımı ve ayrık Fourier dönüşümü

Şekil 3.c'den görüldüğü gibi akım dağılımının altıgen ayrık Fourier dönüşümünün (HDFT), (MERSEREAU 1979), büyük bir kısmı sıfıra çok yakındır. Burada önemli büyüklükteki katsayılar için UTD alan ifadeleri kullanılarak uzak alanlar hesaplanmıştır. Şekil 4'de $\phi=0$ düzleminde uzak alan örüntüsü karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Kırmızı eğri her bir elemandan gelen katkıların tek tek toplanmasıyla elde edilmiştir; mavi ve yeşil eğriler ise ayrık Fourier dönüşüm katsayılarından 43 (% 3.6) ve 117 (% 9.7) tane kullanarak ve UTD katkılarını toplayarak elde edilmiştir. Görüldüğü gibi örüntüler birbiriyle iyi bir uyum içerisindedir.



Şekil 4. 1200 elemanlı birbçimli beslenmiş altıgen dipol dizisinin $\phi=0$ düzlemindeki ışma örüntüsü

Şekil 5'de ise aynı dizi \cos^2 dağılımıyla beslendiğinde elde edilen uzak alanlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi en uzak yan demetler dışında eleman-eleman toplama yöntemiyle hesaplanmış alanlar, %10'dan daha az DFT katsayısı ve UTD kullanılarak hesaplanmış alanlarla aynıdır.



Şekil 5. 1200 elemanlı \cos^2 dağılımıyla beslenmiş altıgen dipol dizisinin $\phi=0$ düzlemindeki ışma örüntüsü

Böylece akım dağılımlarının ayırık Fourier dönüşümüne dayalı ışın analizinin, büyük dizilerin alanlarının hesaplanmasında etkin bir yöntem olduğu görülmektedir.

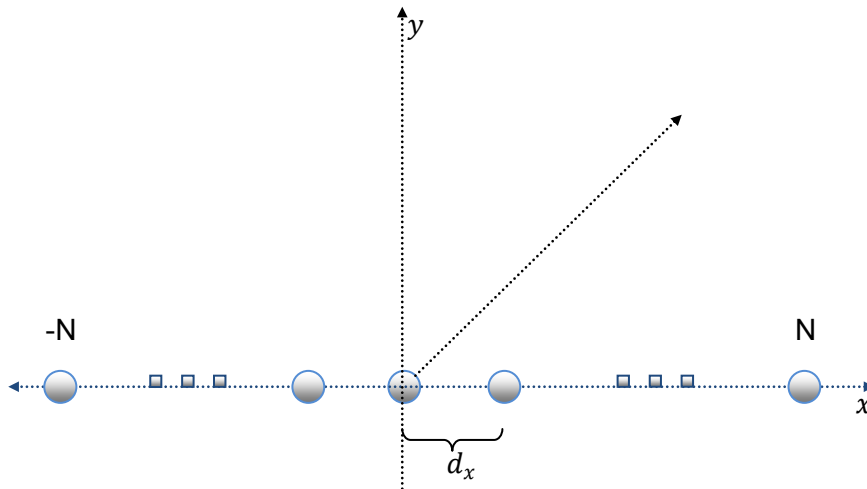
3. Yakınında Saçıcı Bulunan Büyük Anten Dizilerinin Analizi için Melez Yöntem Geliştirilmesi Çalışmaları

Bu bölümde, yakınlarında saçıcı bulunan büyük anten dizilerinin etkin analizi için yöntem geliştirmeye yönelik yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Önerilen melez yöntem, büyük anten dizilerinin ışın teknikleriyle yapılan analizinin, dizi akım dağılımının Ayırık Fourier Dönüşümüyle (DFT) birlikte kullanımına dayanmaktadır. Bölüm 3.1'de doğrusal dizinin ışın alanlarının UTD tekniğiyle bulunması verilmektedir. Bölüm 3.2'de ise, sonsuz uzunlukta mükemmel iletken silindirin yakınına yerleştirilmiş sonsuz uzunlukta akım çubuklarından oluşan dizinin akım dağılımının ayırık Fourier dönüşümü sonuçları tartışılmaktadır. DFT VE UTD yaklaşımlarını kullanarak geliştirilen MoM algoritması Bölüm 3.3'de verilmektedir.

3.1 Doğrusal Dizinin Asimptotik UTD Analizi

Büyük sonlu anten dizilerinden ışın/ışınma alanları asimptotik UTD (Uniform Theory of Diffraction) analizi yapılarak, kolayca birkaç terimle ifade edilebilecek şekilde hesaplanabilmektedir, (CARIN 1993, AYDIN ÇİVİ 2000). Rapordaki anlatım bütünlüğünün sağlanması için doğrusal dizinin UTD analizi bu bölümde özetlenmektedir.

Şekil 6'da UTD analizi yapılan 2 boyutlu problem geometrisi tanımlanmıştır. $2N+1$ sonsuz uzunlukta akım çubuğundan oluşan bir doğrusal dizinin alanları, dizi elemanları üzerindeki akımların aynı olduğu varsayılarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Serbest uzayda sonsuz uzunlukta akım çubuklarından oluşan $2N+1$ elemanlı anten dizisi

Büyük sonlu dizinin ışın alanlarının UTD tekniğiyle elde edilebilmesi için dizinin alanı uzamsal serbest uzay periyodik Green fonksiyonu kullanılarak (1)'de gösterildiği gibi sonlu seri şeklinde yazılır. Burada dizi elemanlarının bir biçimli beslendiği varsayılmıştır.

$$E_z = C \sum_{n=-N}^{n=N} e^{-jk x_n \cos \varphi_0} H_0^{(2)}(k|\boldsymbol{\rho} - \boldsymbol{\rho}_n|), \quad C = -\frac{k^2}{4\omega\epsilon} \quad (1)$$

Yavaş bir şekilde yakınsayan bu seri, 2 boyutlu Green fonksiyonunun frekans bölgesi karşılığı ile değiştirilerek daha hızlı yakınsayan Floquet seri açılımına çevrilebilir. 2 boyutlu serbest uzay Green fonksiyonundaki ikinci derece sıfıncı düzey Hankel fonksiyonunun uzamsal frekans bölgesi eşdeğeri (2)'de gösterilmiştir.

$$H_0^{(2)}(k|\boldsymbol{\rho} - \boldsymbol{\rho}_n|) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jk_x(x-x_n)} \frac{e^{-jk_y y}}{k_y} dk_x \quad (2)$$

Sonlu dizide, elektrik alan ifadesinde kullanılacak olan Poisson toplam formülü (3)'de görüldüğü gibidir.

$$\sum_{n=N_1}^{n=N_2} g_n = \frac{g_{N_1}}{2} + \frac{g_{N_2}}{2} + \sum_{q=-\infty}^{\infty} \int_{N_1}^{N_2} g(v) e^{-j2\pi qv} dv \quad (3)$$

Poisson toplam formülü ve ikinci derece sıfıncı seviye Hankel fonksiyonunun uzamsal frekans bölgesi eşdeğerinin (1)'de yerine konmasıyla aşağıdaki elektrik alan ifadesi elde edilir:

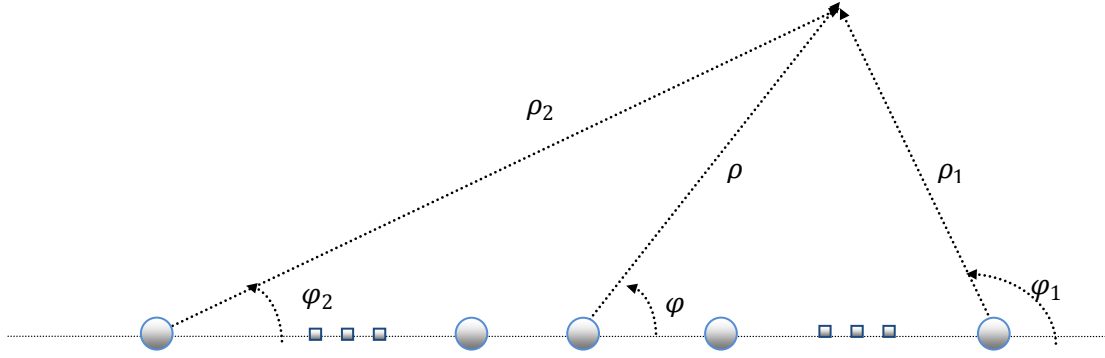
$$\begin{aligned} E_z &= \frac{C}{2} e^{jkN d_x \cos \varphi_0} H_0^{(2)}\left(k\sqrt{(x + Nd_x)^2 + y^2}\right) \\ &+ \frac{C}{2} e^{-jkN d_x \cos \varphi_0} H_0^{(2)}\left(k\sqrt{(x - Nd_x)^2 + y^2}\right) + \\ &-\frac{C}{\pi} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \int_{-N}^N e^{-jkv d_x \cos \varphi_0} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jk_x(x-vd_x)} \frac{e^{-jk_y y}}{k_y} dk_x e^{-j2\pi qv} dv \end{aligned} \quad (4)$$

Bu ifadedeki üçüncü terimi E_z' diye adlandırırsak, bu ifade aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenebilir.

$$E_z' = -\frac{C}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \int_{-N}^N e^{(-jk_x d_x \cos \varphi_0 + jk_x d_x - j2\pi q)v} dv \frac{e^{-jk_x x} e^{-jk_y y}}{k_y} dk_x \quad (5)$$

İçteki integral alındığında (6)'daki ifadeye ulaşılır.

$$E_z' = -\frac{C}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \frac{e^{jN d_x (k_x - k_{xq})} - e^{jN d_x (k_x - k_{xq})} e^{-j k_x x} e^{-j k_y y}}{j d_x (k_x - k_{xq})} \frac{1}{k_y} dk_x \quad (6)$$



Şekil 7. Uzamsal bölge ile ilgili yapılan parametreye değişimleri

(6)'da, Şekil 7'de gösterilen, aşağıdaki, parametre değişimleri yapılırsa (7) elde edilir:

$$\rho_1 \cos \varphi_1 = x - N d_x$$

$$\rho_2 \cos \varphi_2 = x + N d_x$$

$$\rho_1 \sin \varphi_1 = \rho_2 \sin \varphi_2 = y$$

$$k_{xq} = k \cos \varphi_0 + \frac{2\pi q}{d_x}$$

$$k_x = k \cos \alpha$$

$$k_y = k \sin \alpha$$

$$k_{xq} = k \cos \varphi_q$$

$$k_{yq} = k \sin \varphi_q$$

$$E_z' = -\frac{C}{\pi} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \left(-\frac{e^{-j k_{xq} N d_x}}{j k d_x} \int_{C_1} \frac{e^{-j k \rho_1 \cos(\alpha - \varphi_1)}}{\cos \alpha - \cos \varphi_q} d\alpha + \frac{e^{j k_{xq} N d_x}}{j k d_x} \int_{C_2} \frac{e^{-j k \rho_2 \cos(\alpha - \varphi_2)}}{\cos \alpha - \cos \varphi_q} d\alpha \right) \quad (7)$$

Daha sonra (7)'de yapılan parametre dönüşümlerinden elde edilen alan ifadesinin asimptotik integrali (8) ve (9)'daki gibi alınır. Burada $k\rho$ büyük parametredir.

$$I(K) = \int_C F(\alpha) e^{Kf(\alpha)} d\alpha \quad (8)$$

$$I(K) = \mp 2\pi j \lim_{\alpha \rightarrow \alpha_p} (\alpha - \alpha_p) F(\alpha) e^{Kf(\alpha_p)} + F(\alpha_s) \sqrt{\frac{-2\pi}{Kf''(\alpha_s)}} e^{Kf(\alpha_s)} F(Ka) \quad (9)$$

(8)-(9)'da parametrelerin bizim integralimizdeki karşılıkları şu şekildedir:

$$K = -jk\rho_{1,2} \text{ (büyük parametre)}$$

$$f(\alpha) = \cos(\alpha - \varphi_{1,2})$$

$$F(\alpha) = \frac{1}{\cos \alpha - \cos \varphi_q} \text{ (yavaş değişen fonksiyon)}$$

$$\alpha_p = \varphi_q \text{ (kutup noktaları)}$$

$$\alpha_s = \varphi_{1,2} \text{ (eyer noktası)}$$

Burada yalnızca eyer noktasından gelen katkı yazılırsa, dizi sonlarından kırılan ışın ifadesi elde edilir:

$$E_z' = -\frac{C}{\pi} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \left(-\frac{e^{-jk_{xq} N d_x} \sqrt{2\pi j}}{jk d_x \sqrt{k\rho_1}} e^{-jk\rho_1} F(k\rho_1 a_1) + \frac{e^{jk_{xq} N d_x} \sqrt{2\pi j}}{jk d_x \sqrt{k\rho_2}} e^{-jk\rho_2} F(k\rho_2 a_2) \right) \quad (10)$$

Burada $a_{1,2} = 1 - \cos(\varphi_q - \varphi_{1,2})$ dir.

Kutup noktalarından gelen katkılar ise sonsuz dizinin Floquet modlarını verir. Elemanlar arası elektriksel uzaklığa bağlı olarak Floquet modlarından bir ya da birkaç tanesi yayılan, diğerleri ise etkisi silinen (evanescent) modlardır. Baskın Floquet mode, ışınım probleminde dizinin ana huzmesinin doğrultusundadır; saçınım probleminde ise diziden speküler yansıma karşılık gelir. Literatürde (CARIN 1993, AYDIN ÇİVİ 2000) bu modlar kutup noktalarının kalanları (residual) ile hesaplanmıştır. Burada ise speküler yansıma sonsuz periyodik dizi varsayımıyla elde edilmiştir, (13), sonra dizinin sonlu olduğu bilgisi Heaviside basamak işlevi kullanılarak eklenmiştir. İki yöntem de bekleneneği gibi aynı sonucu vermektedir. Speküler yansıma alan ifadesi için sonsuz dizi varsayımı ile sırasıyla şu işlemler yapılmıştır:

$$E_z = C \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} e^{-jk x_n \cos \varphi_0} H_0^{(2)}(k|\boldsymbol{\rho} - \boldsymbol{\rho}_n|) \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
&= -\frac{C}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-jk_x n \cos \varphi_0} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jk_x(x-nd_x)} \frac{e^{-jk_y y}}{k_y} dk_x \\
&= -\frac{C}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-jkn d_x \cos \varphi_0} e^{jk_x n d_x} \frac{e^{-jk_x x} e^{-jk_y y}}{k_y} dk_x
\end{aligned}$$

Sonsuz dizide elektrik alan ifadesinin hesaplanmasında kullanılan Poisson formülü aşağıda verilmiştir:

$$\frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j\frac{2\pi n t}{T}} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(t - mT) \quad (12)$$

(11)'de, (12)'de verilen Poisson toplam formülü kullanıldığında, speküler yansıma ifadesi elde edilir:

$$E_z = -\frac{2C}{d_x} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \frac{e^{-jk_{xq} x} e^{-jk_{yq} y}}{k_{yq}} U(\varphi_1 - \varphi_q^{SB}) U(\varphi_q^{SB} - \varphi_2) \quad (13)$$

burada

$$k_{xq} = k \cos \varphi_0 + \frac{2\pi q}{d_x} = k \cos \varphi_q$$

$$k_{yq} = k \sin \varphi_q, \quad (14)$$

$$\varphi_q^{SB} = \text{Re}(\varphi_q) - \tan^{-1}(\sinh(\text{Im}(\varphi_q)))$$

$U(\cdot)$ işlevi basamak işlevi olup, sonsuz dizi varsayımını fiziksel olarak anlamlı olması için sonlu diziye çevirmektedir. Basamak işlevinin parametreleri gelen ve yansıyan gölge sınırlarıyla ilgilidir.

Toplam elektrik alan, (4), (10) ve (13)'ün biraraya getirilmesiyle aşağıdaki şekilde oluşturulabilir:

$$\begin{aligned}
E_z = & C \left\{ \frac{e^{jk \cos \varphi_0 N \Delta x}}{2} H_0^{(2)}(k|\boldsymbol{\rho} - \boldsymbol{\rho}_{-N}|) \right\} + C \left\{ \frac{e^{-jk \cos \varphi_0 N \Delta x}}{2} H_0^{(2)}(k|\boldsymbol{\rho} - \boldsymbol{\rho}_{+N}|) \right\} \\
& + \frac{C}{jk\pi\Delta x} \sum_{q=-\infty}^{q=\infty} e^{-jk_{xq} N \Delta x} \left[\frac{-2\pi j}{- \sin \varphi_q} \frac{e^{-jk \rho_1 \cos(\varphi_q - \varphi_1)}}{- \sin \varphi_q} \vartheta \right. \\
& \left. + \frac{e^{-jk \rho_1}}{\cos \varphi_1 - \cos \varphi_q} \sqrt{\frac{-2\pi}{jk \rho_1}} F\left(2k \rho_1 \sin^2\left(\frac{\varphi_q - \varphi_1}{2}\right)\right) \right] \quad (15) \\
& \frac{-C}{jk\pi\Delta x} \sum_{q=-\infty}^{q=\infty} e^{jk_{xq} N \Delta x} \left[\frac{-2\pi j}{- \sin \varphi_q} \frac{e^{-jk \rho_2 \cos(\varphi_q - \varphi_2)}}{- \sin \varphi_q} \vartheta \right. \\
& \left. + \frac{e^{-jk \rho_2}}{\cos \varphi_2 - \cos \varphi_q} \sqrt{\frac{-2\pi}{jk \rho_2}} F\left(2k \rho_2 \sin^2\left(\frac{\varphi_q - \varphi_2}{2}\right)\right) \right]
\end{aligned}$$

(15)'de, Poisson toplam formülünden gelen düzeltme terimleri, eyer noktası etrafında alınan entegrasyondan gelen kırınmış ışınlar, kutupların kalan hesabından gelen speküler yansıma terimleri bulunmaktadır. Ayrıca bu formülasyonda speküler yansıma ve düzeltme terimlerinin düzenli fonksiyonlarla ifade edilebildiği ama kırınım dalgalarına karşılık gelen Floquet terimlerinde tekillik sorunu gözlenmektedir. Kompleks bölgede yapılan entegrasyon işleminde, kutupların eyer noktalarını kestiği yerlerde tekillik sorunu ortaya çıkmaktadır. (15)'de $\mathcal{D}(\varphi_1, \varphi_q)$ fonksiyonunun tekillik sorunuyla karşılaşmaktadır. Buradaki tekillik sorununun fiziksel anlamı ise gölge sınırlarında alan fonksiyonunun süreksiz olmasıdır, yani iki farklı bölge, aydınlanmış ve aydınlanmamış bölgeler, arasındaki geçişin türdeş bir şekilde fiziksel değerlerine yakınsamasıdır. Bu aslında geometrik kırınım teorisinde karşılaşılan temel sorunlardan biridir. Bu problemin giderilmesi için gölge bölgesindeki süreksizliği türdeş bir şekilde giderebilecek Fresnel geçiş fonksiyonu $F(\varphi_1, \varphi_q)$, (15)'e eklenmiştir. Tekillik noktalarında sıfır değerine giden bu fonksiyon, tekillik sorununa neden olan fonksiyonla çarpılınca ortaya tekilliği giderilebilir bir süreksizlik fonksiyonu çıkmaktadır. Sonuçta, özellikle gölge sınırlarında fiziksel olarak sonlu bir değere ulaşması gereken durum doğru bir matematiksel modellemeyle ifade edilmiş olmaktadır.

Daha önce de bahsedildiği gibi sonlandırılmış Floquet modlarının çoğunlukla bir (elemanlar arası uzaklık grating huzme çıkmayacak şekilde seçildiğinde), ya da en fazla iki-üç (grating huzme

3.2 Yakınında Saçıcı Bulunan Anten Dizisi Analizinde Akım Dağılımının Ayırık Fourier Dönüşümünün Kullanımı

Büyük anten dizilerinde akım dağılımının Ayırık Fourier Dönüşümünün belli bir bölgede yoğunlaştığı, bir diğer deyişle, bir kaç önemli katsayısı dışındaki diğer DFT katsayılarının sıfıra çok yakın olduğu daha önceki çalışmalarda ve üçgen kafes dizilimli altıgen dizi için bu raporun 2. bölümünde gösterilmiştir. Dizinin alan ifadesinde dizi akımları yerine akımların Ayırık Fourier dönüşüm ifadesinin kullanımı hesaplamalarda hızlanmaya yol açmaktadır. $2N+1$ elemanlı bir dizi için toplam elektrik alan, elemanların alanlarının toplamı şeklinde 16)'daki gibi ifade edilebilir. Bu ifadede dizi akım dağılımı katsayıları I_n 'ler, (17)'deki DFT ifadesi ile yazılırsa, (18)'de verilen elektrik alan ifadesi elde edilir.

$$\mathbf{E}^{total} = \sum_{n=-N}^N I_n \mathbf{E}_n^{el} \quad (16)$$

$$\tilde{I}_k = \sum_{n=-N}^N I e^{-j2\pi k \frac{n}{2N+1}} \quad (17)$$

$$\mathbf{E}^{total} = \sum_{k=-N}^N \tilde{I}_k \underbrace{\sum_{n=-N}^N e^{-j2\pi k \frac{n}{2N+1}} \mathbf{E}_n^{el}}_{\text{Bir biçimli akım dağılımına sahip elektrik alan ifadesi}} \quad (18)$$

Bu ifade de \tilde{I}_k 'ların pek çoğu sıfıra çok yakındır, bu nedenle alanı bulmak için birkaç terimin toplanması yeterli olur. İçteki toplamda gösterilen alan ise, Bölüm 2'de de anlatıldığı gibi $2N+1$ elemanlı, her elemanın üstünde aynı akım olan dizinin alanıdır. Burada, her bir dizi farklı yöne bakacak şekilde doğrusal olarak fazlanmıştır. Bu kısmın UTD ışın-analizi Bölüm 3.1'de verilmiştir. Bölüm 3.1'de de anlatıldığı gibi birbiçimli akım dağılımına sahip dizinin alanları baskın Floquet alan ve kenarlardan kırılan Floquet ışınlar şeklinde birkaç terimle ifade edilir. Böylece (18)'deki ifade daha hızlı ve yüksek doğrulukla hesaplanır. Bu kısımda, sayısal örneklerle yakın ve uzak alanlar için bu yöntemin geçerliliği gösterilecektir.

Bu çalışmada, yukarıda anlatılan bu yaklaşım, Şekil 1'de geometrisi verilen yakınında sonsuz uzunlukta mükemmel iletken silindir olan sonsuz uzunlukta akım çubuklarından oluşan dizinin ışına alanlarının bulunması için kullanılmıştır. Akım çubuğun yarattığı alanların mükemmel iletken silindirden saçılımı, (BALANIS 1989)'da verilen ifadelerle hesaplanmaktadır.

3.2.1. Sayısal Örnekler

Bu kısımda, çeşitli sayısal örneklerle DFT yönteminin Şekil 1'de tanımlanan problem için geçerliliği test edilmiştir. İncelenen durumlarda, dizi elemanları arası uzaklık 0.5λ (λ :dalgaboyu) olarak alınmıştır. 21 ve 51 elemanlı diziler için λ yarıçaplı silindirin diziye göre farklı konumlarda yer aldığı ve anten dizilerinin farklı beslemelerle uyarıldığı durumlar incelenmiştir. Dizinin birbiciimli olarak veya Taylor dağılımı ile beslendiği varsayılmış ve momentler yöntemiyle akım dağılımları hesaplanmıştır. Mükemmel iletken silindir saçıcının olduğu ve olmadığı durumlarda anten dizisi üzerinde indüklenen akım dağılımı Momentler yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve DFT'si alınarak karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Ayrıca farklı DFT katsayıları için yakın ve uzak alanlar hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Pek çok farklı durum için sayısal hesaplamalar yapılmıştır; bu raporda bunlardan en önemli üç tanesine yer verilmiştir. Diğer farklı geometrilerde yapılan analizlerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

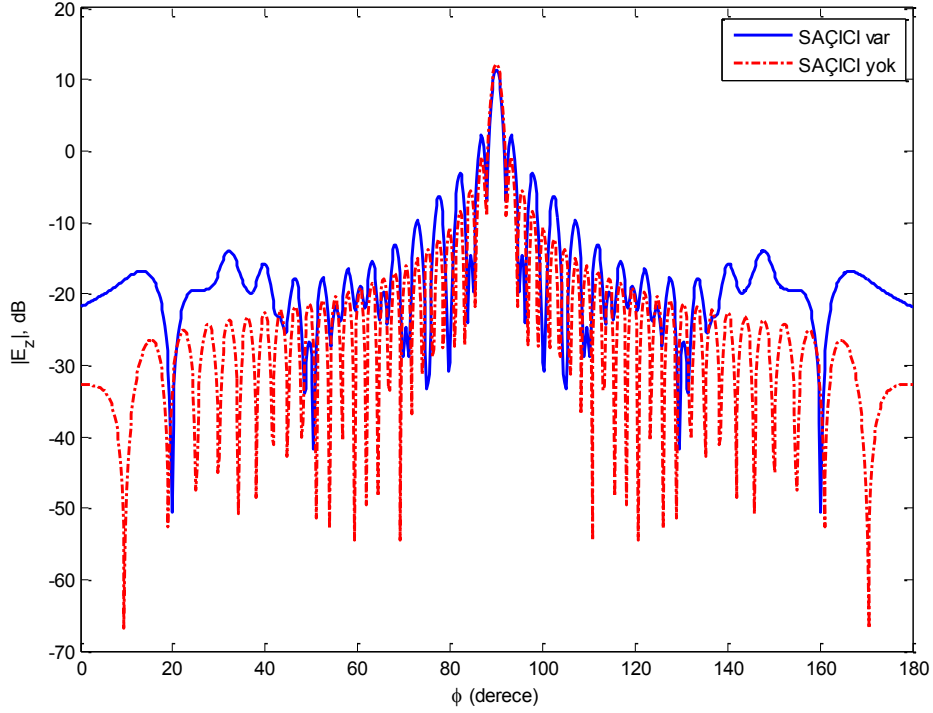
Durum 1: 51 elemanlı dizi, iletken silindir merkezden 2λ uzaklıkta

İncelenen bu durumda, iletken silindir, anten dizisinin merkezinden 2λ uzaklıkta olup ($x_0=2\lambda$) dizi merkezine göre simetrik yerleştirilmiştir ($y_0=0\lambda$). Anten dizisi bir biçimli beslenmiştir. Uzak alan örüntüsü, mükemmel iletken saçıcının olduğu ve olmadığı durum için hesaplanmış ve Şekil 9'da verilmiştir. Görüldüğü gibi saçıcının varlığı yan huzmeleri önemli ölçüde yükseltmiştir.

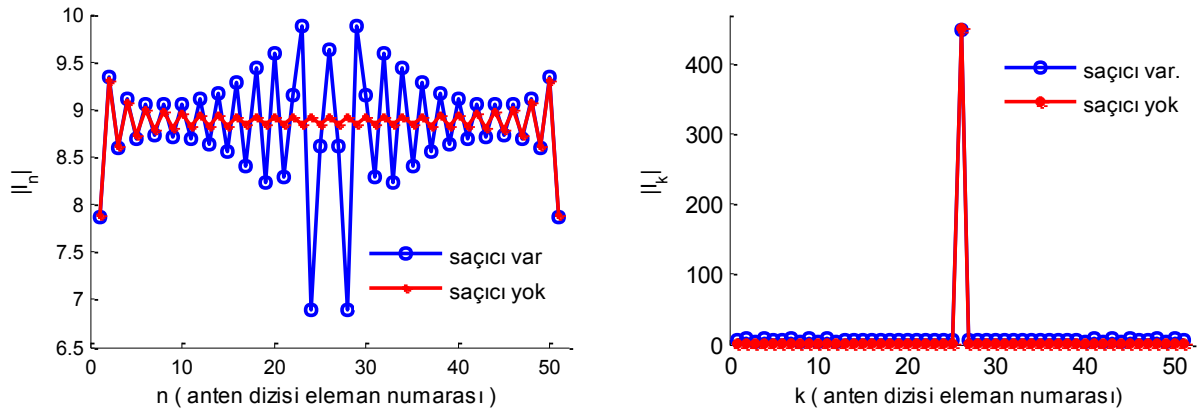
Saçıcının varlığında ve yokluğunda anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve dağılımın DFT katsayıları hesaplanmış ve Şekil 10'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Beklendiği üzere saçıcının akım dağılımına etkisi simetrik ve özellikle merkezdeki elemanlar üzerinde daha fazladır. Saçıcının varlığı DFT dağılımının dar bir bölgeye yoğunlaşmış karakteristiğini pek etkilememiştir. Baskın DFT katsayısının hala merkezde olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla, alan ifadeleri için DFT akım dağılımının bu özelliğinden hala yararlanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Farklı DFT katsayıları kullanılarak oluşturulan uzak alan ve yakın alan ($\rho=100\lambda$) örüntüleri, her bir dizi elemanın alanını toplayarak elde edilen referans çözümlerle Şekil 11'de karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi sadece 26. (ortadaki, ya da bir diğer deyişle baskın) DFT'nin kullanılmasıyla elde edilen ışın örüntüsü, referans ışın örüntüsüyle, özellikle ana hüzmeye ve çevresinde hemen hemen aynıdır. 13-39 arası DFT'lere karşılık gelen dizilerin ana hüzmeleri PEC silindiri aydınlatan yödedir. Bu terimlerin katılması alanların ana hüzmeye yakın olan yan hüzmelerde referans çözümüyle büyük tutarlılık sağlanmıştır. Yalnızca, dizi düzlemine çok yakın açılarda

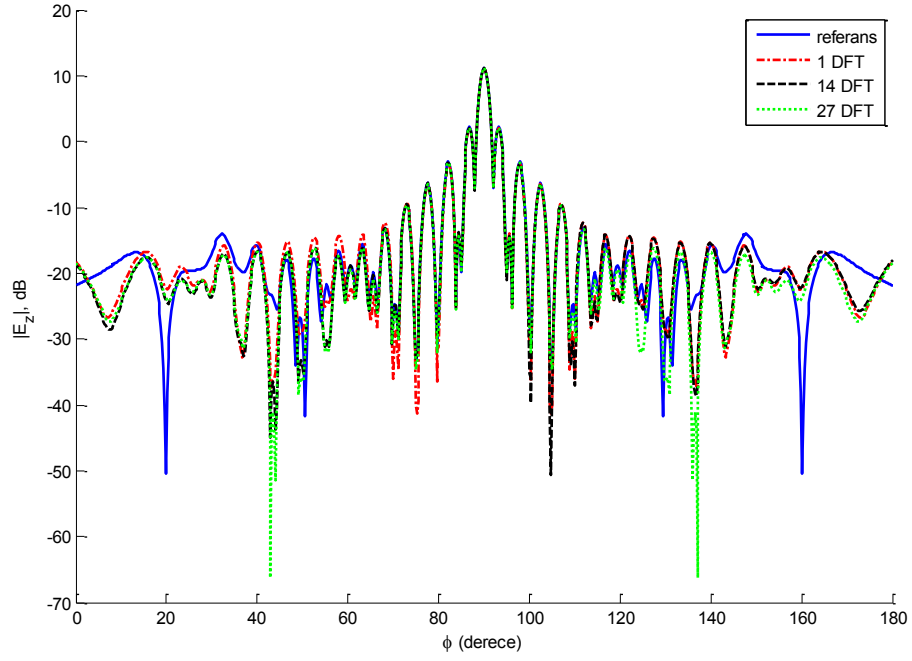
(grazing) tutarsızlık gözlenmiştir. Bu açılardaki tutarsızlık, ilk ve son DFT terimleri eklenerek uzak alan ifadesinde düzeltilebilir.



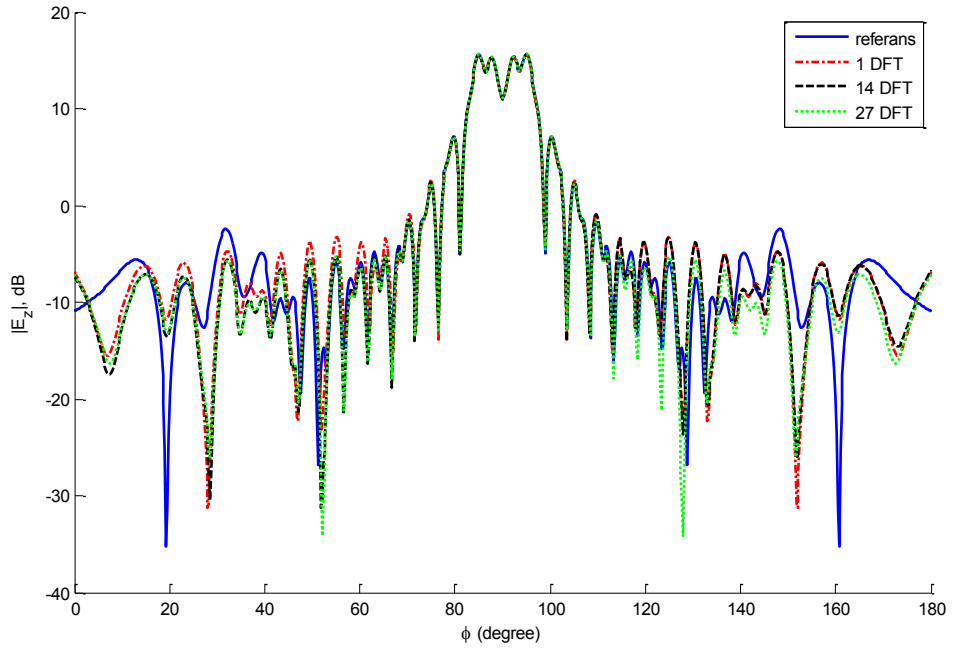
Şekil 9. Mükemmel İletken (PEC) silindirik saçıcı varken ve yokken elde edilmiş uzak alan örüntüleri



Şekil 10. PEC silindirik saçıcı varken ve yokken bir biçimli beslenen 51 lik anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve akım dağılımının DFT'si



(a)



(b)

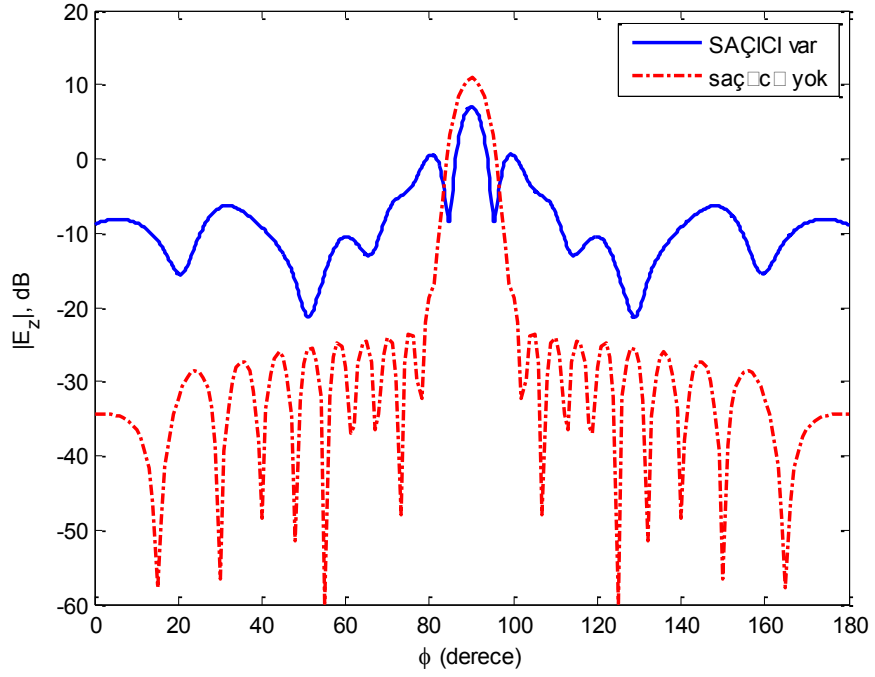
Şekil 11. Farklı sayılarda DFT katsayıları ile hesaplanmış (a) uzak alan ($\rho=1250\lambda$), (b) yakın alan ($\rho=100\lambda$) örüntülerinin referans çözümlerle (eleman eleman toplayarak elde edilmiş) karşılaştırılması

Durum 2: 21 elemanlı dizi, iletken silindir merkezden 2λ uzaklıkta

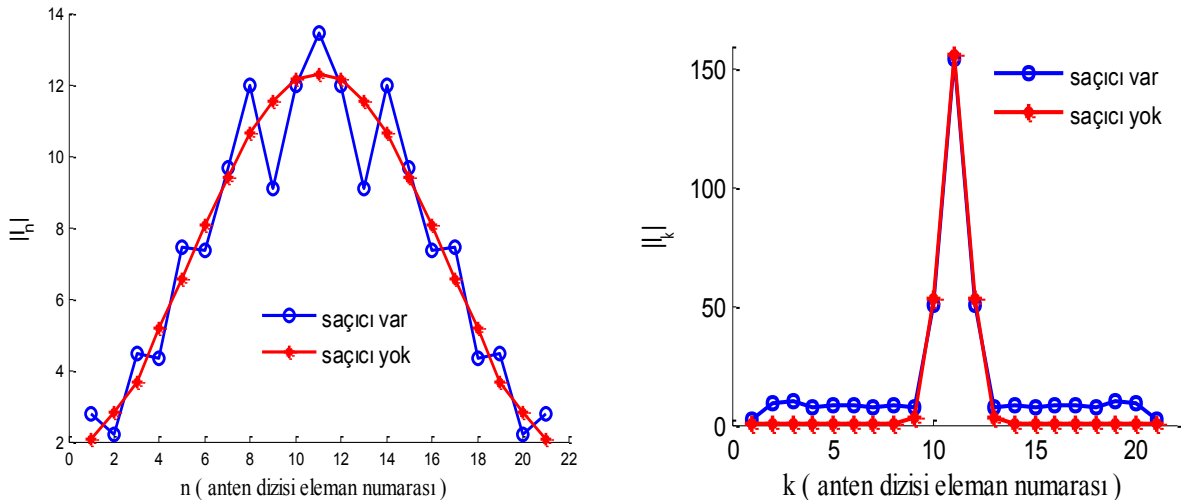
İncelenen bu durumda, iletken silindir anten dizisinin merkezinden 2λ uzaklıkta olup ($x_0=2\lambda$) dizi merkezine göre simetrik yerleştirilmiştir ($y_0=0\lambda$). Anten dizisi Taylor dağılımı (-35 dB yan huzme düzeyi olacak şekilde) ile beslenmiştir. Uzak alan örüntüsü, mükemmel iletken saçıcının olduğu ve olmadığı durum için hesaplanmış ve Şekil 12'de verilmiştir. Görüldüğü gibi saçıcının varlığı örüntüyü çok bozmuş, yan huzmeleri önemli ölçüde yükseltmiştir.

Saçıcının varlığında ve yokluğunda anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve dağılımın DFT katsayıları hesaplanmış ve Şekil 13'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Bir önceki durumdan farklı olarak, Taylor dağılımının DFT eşdeğerinde baskın olan terimlerin merkezdeki üç eleman olduğu gözlenmiştir. Saçıcının varlığı hala DFT dağılımının yoğunlaşmış karakteristiğini bozmamaktadır. Dolayısıyla, alan ifadeleri için DFT akım dağılımının bu özelliğinden hala yararlanılabileceği sonucuna varılmıştır.

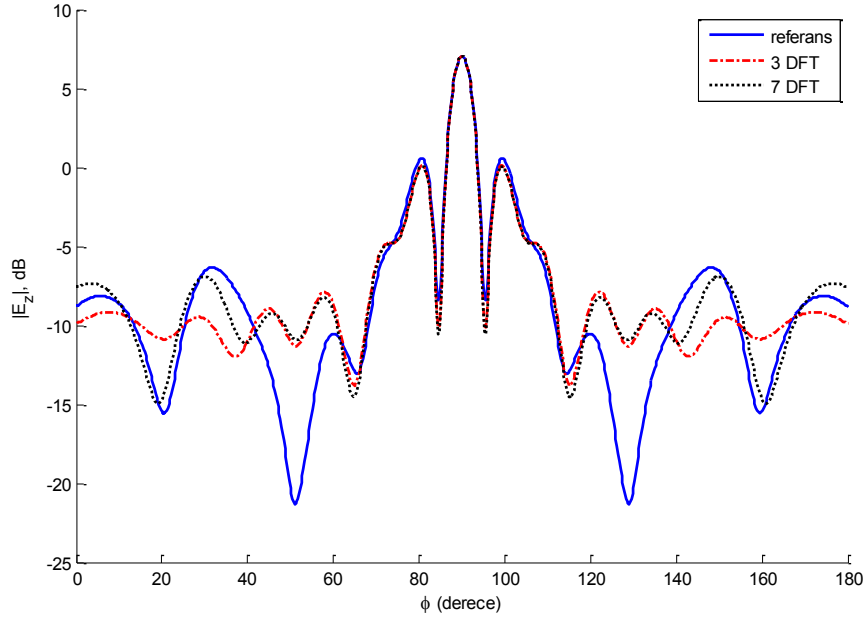
Farklı DFT katsayıları kullanılarak oluşturulan uzak alan ve yakın alan ($\rho=4.25\lambda$) örüntüleri, her bir dizi elemanın alanını toplayarak elde edilen referans çözümle Şekil 14'de karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi sadece 10.,11.,12, (merkez üçlü) DFT'nin kullanılmasıyla elde edilen ışın örüntüsü, referans ışın örüntüsüyle, özellikle ana hüzme ve çevresinde büyük tutarlılık gözlenmiştir. Daha önceki durumda gözlenen, dizi düzlemine çok yakın açılarda (grazing) alan ifadesindeki tutarsızlık bu durum için de geçerlidir. Bu açılardaki tutarsızlık, ilk ve son DFT terimleri eklenerek uzak alan ifadesinde düzeltilebilir.



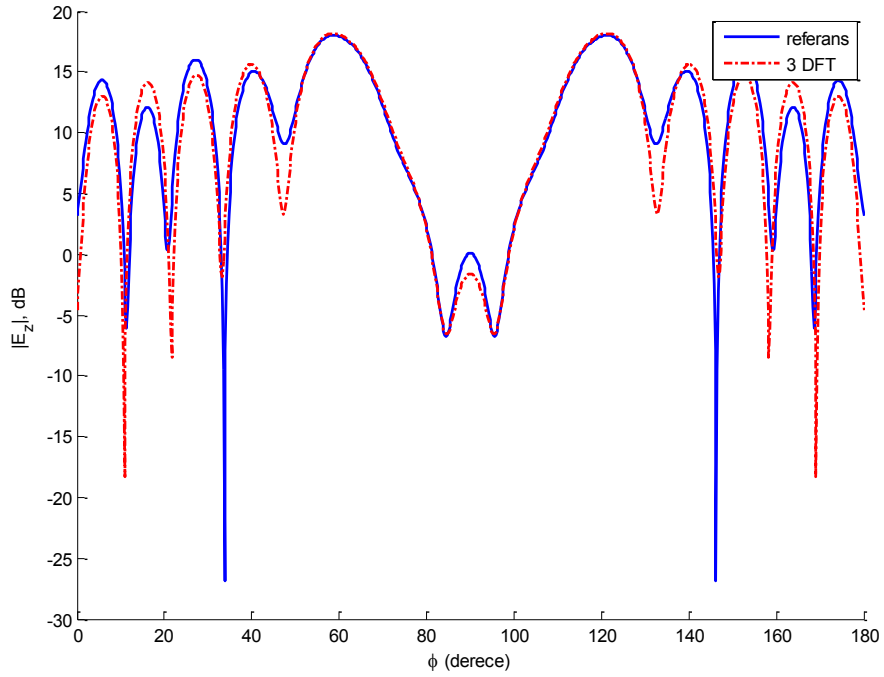
Şekil 12. Mükemmel İletken (PEC) silindirik saçıcı varken ve yokken elde edilmiş uzak alan örüntüleri



Şekil 13. PEC silindirik saçıcı varken ve yokken Taylor dağılımı ile beslenen 21 lik anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve akım dağılımının DFT'si



(a)



(b)

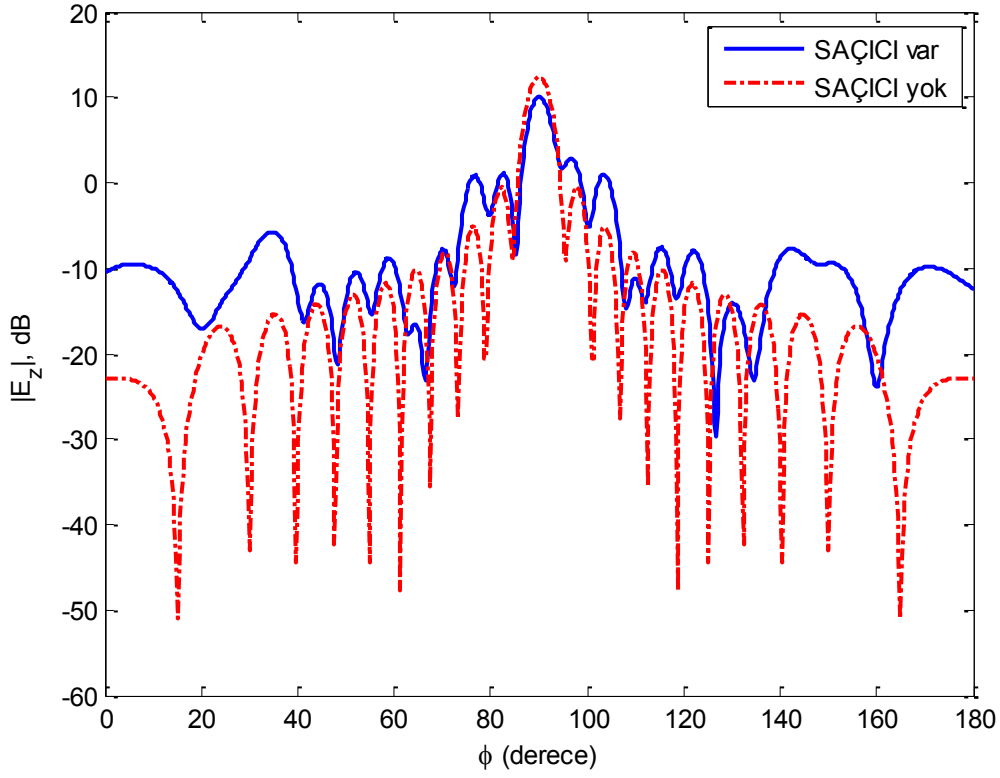
Şekil 14. Farklı sayılarda DFT katsayıları ile hesaplanmış (a) uzak alan ($\rho=200\lambda$), (b) yakın alan ($\rho=4.25\lambda$) örüntülerinin referans çözümü (eleman eleman toplayarak elde edilmiş) karşılaştırılması

Durum 3: 21 elemanlı dizi, iletken silindir dizinin merkezinden 2λ yükseklikte ve 2λ yan kaymış durumda

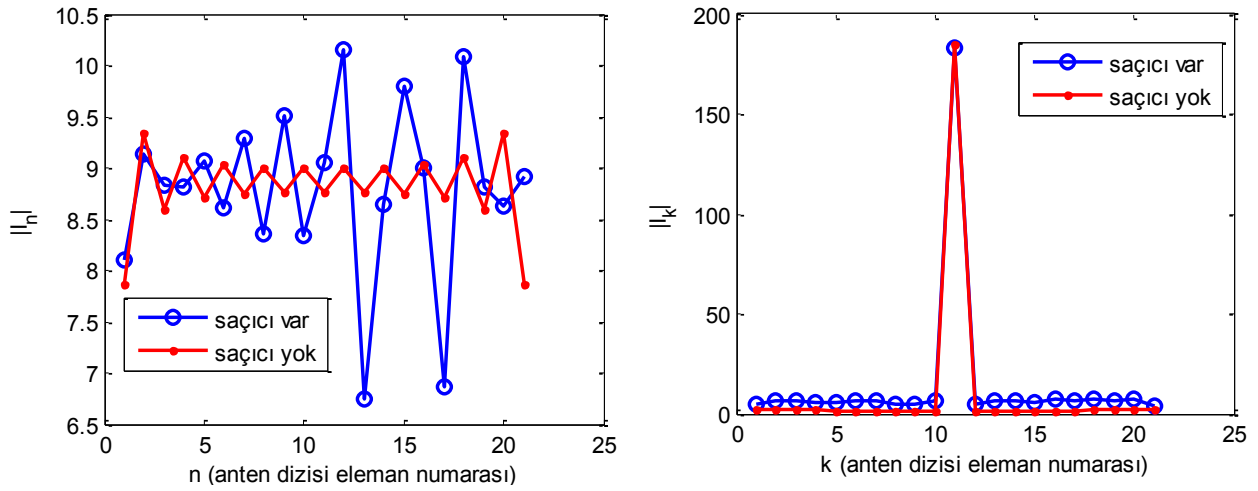
İncelenen son durumda 21 elemanlı dizi kullanılmıştır. İletken silindir anten dizisinin merkezinden 2λ uzaklıkta olup ($x_0=2\lambda$) dizi merkezine göre 2λ yana kaymış ($y_0=2\lambda$) durumda yerleştirilmiştir, yani dizi merkezine göre asimetrik yerleştirilmiş ve yine bir biçimli beslenmiştir. Uzak alan örüntüsü, mükemmel iletken saçıcının olduğu ve olmadığı durum için hesaplanmış ve Şekil 15’de verilmiştir. Görüldüğü gibi saçıcının varlığı örüntüdeki simetriyi bozmuş, yan huzmeleri önemli ölçüde yükseltmiştir.

Saçıcının varlığında ve yokluğunda anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve dağılımın DFT katsayıları hesaplanmış ve Şekil 16’da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, özellikle PEC silindirik saçıcının komşuluğunda bulunan anten elemanları üzerindeki akım değerleri en fazla etkilenmiştir. Saçıcının varlığı DFT dağılımının yoğunlaşmış karakteristiğini bozmamaktadır.

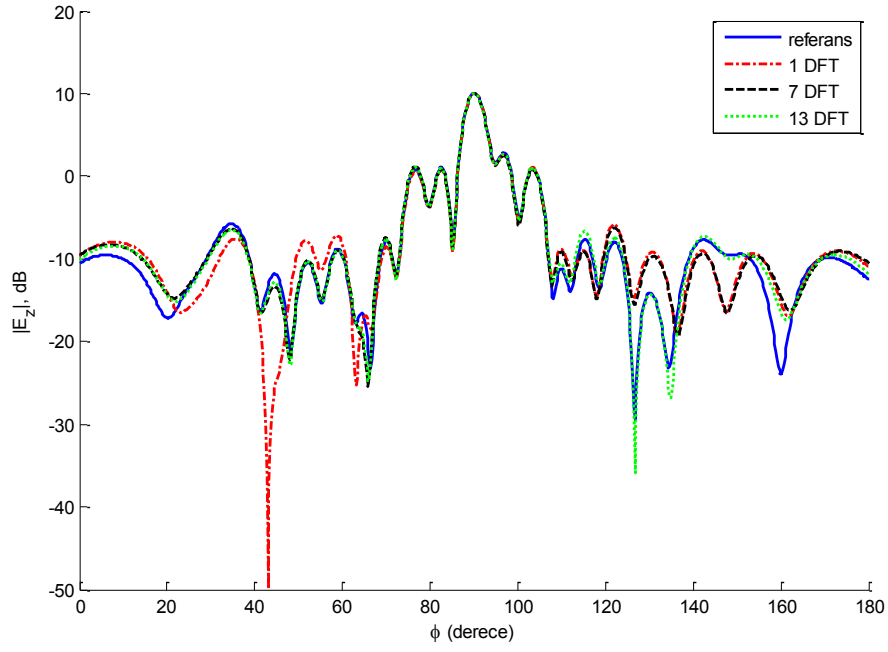
Silindirin dizi merkezinden kaymış bir şekilde yerleştirildiği bu durumun incelenmesinin bir nedeni de alan hesaplanmasında yine dizinin baskın DFT’sinin mi, yoksa silindire doğru bakan DFT bileşeninin mi daha etkin olduğunu anlamaya çalışmaktır. Şimdiye kadar incelenen durumlarda genel olarak merkez ya da merkeze yakın baskın DFT’lerin, alan dağılımının tekrar oluşturulmasında özellikle ana hüzme ve çevresinde etkili olduğu gözlenmiştir. Farklı DFT katsayıları kullanılarak oluşturulan uzak alan ve yakın alan ($\rho=4.25\lambda$) örüntüleri, her bir dizi elemanın alanını toplayarak elde edilen referans çözümlerle Şekil 17’de karşılaştırılmıştır. Şekil 17’den görüldüğü üzere sadece 11. (baskın) DFT’nin kullanılması, asıl örüntünün özellikle ana hüzme ve yakın yan huzmelerini büyük oranda tekrar oluşturmasını sağlamakla beraber saçıcının bulunduğu açıda çok da başarılı olamamıştır. Daha önce belirtildiği gibi alan hesaplama formülünde akımlar yerine DFT açılımı kullanıldığında her bir DFT terimi birbiçimli beslenmiş farklı bir açıya bakan dizi alanını vermektedir. Baskın DFT’ye ek olarak 2-7 arası DFT’lerin eklenmesi (7 DFT durumu) bu açılardaki farkı gidermiştir. 2-7 arası DFT’lere karşılık gelen dizilerin ana huzmeleri PEC silindiri aydınlatan yödedir. Baskın DFT’ye ek olarak, 2-7 arası DFT’lerin simetriği olan 15-20 arası DFT’lerin kullanılması (13 DFT durumu) ise (120° - 180°) arasında yan huzmelerde oluşan farkı azaltmıştır. Sonuç olarak merkez (baskın) DFT’nin yanısıra PEC saçıcıyı aydınlatan DFT katsayıları ve bunların simetriği olan DFT terimlerinin alan hesabında kullanılması tüm açılarda doğru bir sonuç elde etmek için yeterlidir.



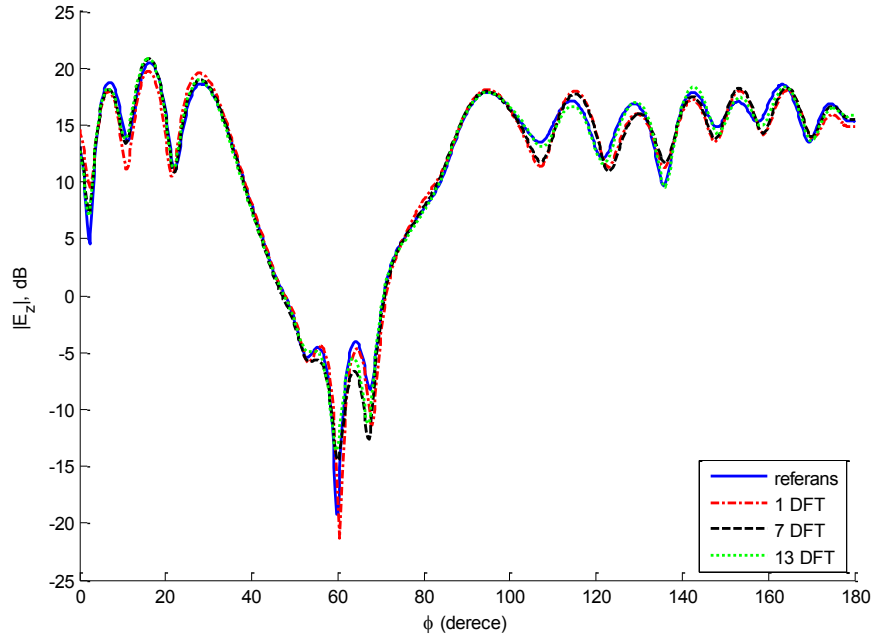
Şekil 15. Mükemmel İletken (PEC) silindirik saçıcı varken ve yokken elde edilmiş uzak alan örüntüleri



Şekil 16: PEC silindirik saçıcı varken ve yokken bir biçimli beslenen 21 lik anten dizisi üzerindeki akım dağılımı ve akım dağılımının DFT'si



(a)



(b)

Şekil 17: Farklı sayılarda DFT katsayıları ile hesaplanmış (a) uzak alan ($\rho=200\lambda$), (b) yakın alan ($\rho=4.25\lambda$) örüntülerinin referans çözümle (eleman eleman toplayarak elde edilmiş) karşılaştırılması

Burada incelenen örneklerden de görüldüğü gibi, yakınında saçıcı bulunan dizilerin yakın ve uzak alanları, akım dağılımının Ayrık Fourier dönüşümünün birkaç terimini kullanarak yüksek doğrulukla hesaplanabilmektedir.

3.3 DFT-UTD-MoM Algoritması

Yakınında saçıcı bulunan büyük dizilerin MoM gibi sayısal yöntemlerle analizi, bilinmeyen sayısının çok büyük olması nedeniyle çok zaman almakta ya da çözülememektedir. Bu projede yapılan akım dağılımının DFT'sinin küçük bir bölgeye yoğunlaşmış olması ve UTD ışın tekniğiyle alanların birkaç terimle hızlıca hesaplanabilmesi çalışmaları kullanılarak, MoM yöntemiyle çözümde, bilinmeyen sayısının azaltılması, çözümün hızlandırılması için aşağıdaki algoritmalar önerilmiştir.

Bilinmeyen sayısının azaltılması

Buradaki yaklaşım (CHOU 2002) de sonlu büyük dizilerin analizi için sunulan yöntemin, yakınında saçıcılar olan büyük diziler için geliştirilmiş halidir. MoM yönteminde ayrıklaştırılmış entegral denklem ifadesinde bilinmeyenler dizi elemanlarının akım katsayılarıdır. Bu formülasyonda, akım dağılım katsayıları daha yoğunlaşmış olan Ayrık Fourier katsayılarıyla yer değiştirilir. Böylece MoM matrisinde bilinmeyenler olarak akım dağılımı yerine ayrık Fourier dönüşüm karşılıkları kullanılır. Pratik akım dağılımları için yakında saçıcı olan durumlarda bile, DFT katsayılarının çoğunluğunun sıfır ya da sıfıra yakın olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla baskın olan katsayılar dışındakiler sıfır alınarak MoM matrisindeki bilinmeyen sayısını düşürülebilir. Hangi katsayıların alınacağı (CHOU 2002) de tartışılmıştır.

Yukarıda kısaca özetlenen yöntem biraz daha ayrıntılı olarak şu şekilde anlatılabilir. En genel halde, dizinin MoM matrisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$[Z_{mn}][I_n] = [V_m] \quad (20)$$

Burada Z_{mn} , karşılıklı bağlaşım matrisi, I_n akım dağılım katsayı vektörü, V_m , kaynak voltaj dağılımı vektörü, \tilde{I}_k , akım dağılım vektörünün DFT karşılığı'dır.

Burada akım vektörünü, $[I_n]$ ayrık Fourier dönüşüm matrisi, $[T_{nk}]$ kullanarak yeniden düzenlersek, bilinmeyenlerimizin artık akım dağılımı değil akım dağılımının Ayrık Fourier dönüşüm katsayıları olduğu bir denklem elde edebiliriz.

Akım dağılım vektörü ve DFT karşılığını birbirine bağlayan ayrık Fourier dönüşüm matrisi şu şekilde yazılabilir:

$$[T_{nk}] = \begin{bmatrix} e^{-j2\pi\frac{1}{2N+1}} & e^{-j2\pi\frac{2}{2N+1}} & \dots & e^{-j2\pi\frac{k}{2N+1}} & \dots \\ e^{-j4\pi\frac{1}{2N+1}} & & \ddots & & \\ \vdots & & & & \\ e^{-j2\pi n\frac{1}{2N+1}} & & & & \\ \vdots & & & & \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$k=1,2,\dots,2N+1, n=1,2,\dots,2N+1$$

Aşağıda gösterilen dönüşüm sırasıyla uygularsak empedans matrisini değiştirerek formülasyonda bilinmeyen olarak akım dağılımının ayrık Fourier dönüşüm eşdeğerini bırakabiliriz.

$$\begin{aligned} [I_n] &= [T_{nk}][\tilde{I}_k] \\ [Z_{mn}][T_{nk}][\tilde{I}_k] &= [V_m] \\ [\tilde{Z}_{mk}] &= [Z_{mn}][T_{nk}] \\ [\tilde{Z}_{mk}][\tilde{I}_k] &= [V_m] \end{aligned} \quad (22)$$

Burada %30-40 civarında bir DFT katsayısı bilinmeyen olarak kullanılarak doğruluğu yüksek çözümler elde edilebilir.

DFT-UTD Temelli Hızlandırılmış MoM Algoritması

Bölüm 3.2'de ışınım alanlarının, akım dağılımının DFTsi ve Bölüm 3.1'de anlatılan dizi ışınım alanının UTD tekniği kullanılarak birkaç terimin toplamı şeklinde hesaplanabilmesi ile yüksek doğrulukla elde edebileceğinden bahsetmiştik. Bu iki yöntemi sayısal bir yöntem olan MoM ile birleştirerek daha hızlı hesaplama yapan bir algoritma elde edebiliriz. Formülasyonun adımları şu şekilde özetlenebilir:

1. Dizi elemanları üzerinde toplam elektrik alanın teğet bileşenini sıfır yaparak bir entegral denklemi elde edilir. Burada bilinmeyen, dizi üzerindeki akım dağılımıdır. Kernel olarak ise sonsuz uzunlukta çubuk akımın mükemmel iletken silindir varlığındaki alan ifadesi kullanılır. Dizi elemanları üzerindeki akımların, temel fonksiyonları cinsinden açılımı yapılır. Elde edilen denklem Galerkin metoduyla dizi üzerinde test edilerek, bilinen MoM matris denklemi elde edilir. Buraya kadar yapılan işlemler geleneksel yöntemin adımlarıdır.

2. Daha sonra bilinmeyen akım katsayıları, DFT ifadesiyle yer değiştirilir. Böylece daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi en genel durumda birbiçimli akım dağılımına sahip olmayan alan ifadesi bir biçimli akım dağılımına sahip alan ifadeleri cinsinden yazılır.
3. Matris elemanlarının hesaplandığı integraller, birbiçimli ardışık faz verilmiş dizilerin alan ifadelerini içerir. Burada dizi alanını ifade eden $2N+1$ uzunluğundaki toplam UT D analizinden elde edilen üç bileşenin toplamı şeklinde yazılır: baskın Floquet moda karşılık gelen düzlemsel dalga, dizinin sonlarından kırılan iki silindirik dalga. Bu üç dalganın mükemmel iletkenlen saçınması da bilinen ifadelerle hesaplanabilir. Bu durumda empedans matrisi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} \tilde{Z}_{11}^{FS} + \tilde{Z}_{11}^{PEC_cyl} & \dots & \tilde{Z}_{1N}^{FS} + \tilde{Z}_{1N}^{PEC_cyl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{Z}_{N1}^{FS} + \tilde{Z}_{N1}^{PEC_cyl} & \dots & \tilde{Z}_{NN}^{FS} + \tilde{Z}_{NN}^{PEC_cyl} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{I}_1 \\ \vdots \\ \tilde{I}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (23)$$

\tilde{Z}_{mn}^{FS} : Bağlaşım empedans matris elemanları DFT dönüşüm matrisi ile çarpılmış durumda, 2 boyutlu serbest uzay Green fonksiyonu kullanılarak elde edilir, daha sonra UT D analizinde elde edilen üç önemli terimle (Baskın Floquet, iki kenardan kırılan Floquet'ler) ifade edilir.

$\tilde{Z}_{mn}^{PEC_cyl}$: Bağlaşım empedans matris elemanları, mükemmel iletken saçıcıdan akım çubuğu saçılması ve düzlemsel dalga saçılması durumlarının Green fonksiyonu kullanılır (UT D analizinde elde edilen baskın Floquet düzlemsel dalgasının ve kenarlardan kırılan silindirik dalganın saçınımlarına karşılık gelir)

(I_1, I_N) : Anten dizisi üzerindeki akım dağılım vektörü

(V_1, V_N) : Beslemede kullanılan voltaj dağılım vektörü

İsternirse bilinmeyen sayısı da bir önceki kısımda anlatıldığı gibi önemli DFT katsayılarını kapsayacak şekilde azaltılabilir.

Bu algoritmanın probleme uygulanması sürmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, yakınında saçıcı yapılar bulunan anten dizilerinden ışınma/saçınım problemlerinin etkin analizi için bir melez yöntem önerilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu yöntem elektriksel olarak büyük dizilerinin asimptotik ışın alan gösterimine ve dizi akımlarının Ayrık Fourier Dönüşüm ifadelerine dayanmaktadır. Yapılan çalışmalarla gerçekçi anten dizilerinin üzerindeki akım dağılımının Ayrık Fourier Dönüşümünün, dizinin yakınında saçınmaya yol açabilecek nesnelere olduğu durumda bile belli bir bölgede yoğunlaşmış olduğu gösterilmiştir. Büyük anten dizilerinden ışınan alanların, Kırınımın Birbiçimli Teorisi (Uniform Theory of Diffraction - UTD) tekniği kullanılarak analizi yapılmıştır. Akımların Ayrık Fourier Dönüşümünün bir bölgede yoğun olmasını ve büyük dizilerin UTD analizini kullanan etkin bir Momentler Yöntemi (MoM) algoritması önerilmiştir. Yakınında sonsuz uzunlukta mükemmel iletken silindir olan sonsuz uzunluktaki akım elemanlarından oluşan doğrusal diziden ışınma problemi uygulama örneği olarak ele alınmıştır. Elemanlar üzerindeki akım dağılımları hesaplanıp, yakın ve uzak alanların bir kaç DFT terimi kullanılarak doğru bir şekilde bulunabileceği gösterilmiştir. Ayrıca, ışın teknikleriyle yapılan analiz (UTD analizi) sonucunda elde edilecek alan ifadesiyle ayrık Fourier dönüşüm tekniğinin nasıl birleştirileceği gösterilmiştir ve sayısal örnekler verilmiştir.

Ayrıca, üçgen kafes dizilişli altıgen dizilerin alanlarının az sayıda DFT katsayısı kullanarak yüksek doğrulukla bulunabileceği sayısal örneklerle gösterilmiştir. Verilen örneklerde hem birbiçimli akım dağılımları hem sönümlenmeli akım dağılımları kullanılmıştır. Sönümlenmeli akım dağılımlarında bile akım dağılımının DFT ifadesinin son derece yoğunlaşmış olduğu gösterilmiştir. Alanların hesaplanmasında, düzlemsel dizi doğrusal dizilerin dizisi şeklinde düşünülmüş ve doğrusal dizinin UTD ışın analizi sonuçları kullanılmıştır.

Yöntemin, 2 boyutlu probleme uygulanması tamamlandıktan sonra 3 boyutlu probleme uygulanmak için şu şekilde geliştirilebilir. Düzlemsel dizi, doğrusal dizilerin dizisi olarak ifade edilir. Her bir doğrusal dizi için önerilen yöntemle formülasyon yapılır. Yöntemin doğruluğunun ve verimliliğinin gösterilebilmesi için, öncelikle basit bir diziye uygulaması yapılmıştır. Daha sonra daha karmaşık yapıda anten elemanlarından oluşan dizilere de uygulanacak şekilde geliştirilebilir.

Önerilen melez yöntemin probleme uygulanması çalışmaları sürmektedir. Projenin başında Pisa üniversitesinde bu konuda çalışacak doktora sonrası araştırmacının kısa sürede ayrılması ve ODTÜ'de bu konuda çalışabilecek bir lisans üstü öğrencinin ancak projenin ikinci yılında bulunması çalışmaların uygulamasının tamamlanmasını geciktirmiştir. Son yıllarda özellikle

EMT, Mikrodalga-Anten alanlarında çalışan mühendislere piyasada çok gereksinim duyulması (Savunma sanayi şirketlerinin sayısının artması ve ilgili projelerin artması nedeniyle) ve bu mühendislere sunulan koşulların üniversitedekine göre çok çok iyi olması, bu alanda çalışabilecek tam zamanlı lisans üstü öğrenci sayısını çok azaltmıştır. Ülkemizin bu alandaki Ar-Ge çalışmalarına gereksinimi de göz önüne alındığında, tam zamanlı lisans üstü öğrencinin üniversitelerde kalabilmesi için koşulların (burs vb) iyileştirilmesi gerektiği gözlenmektedir.

Proje kapsamında yapılan çalışmalarla ilgili iki bildiri saygın konferanslarda sunulmuştur (SERRA 2008,CETİN 2009). Bir yüksek lisans çalışması da sürmektedir.

Bu proje kapsamında, İtalya'da Pisa üniversitesindeki ortaklarımız Prof. Paolo Nepa ve Prof. Guillano Manara ile olan ortak çalışma ve işbirliği daha da geliştirilmiştir. Önümüzdeki yıllarda da bu işbirliği ortak proje ve yayınlara yol açacak şekilde sürecektir.

5. REFERANSLAR

AYDIN CİVİ Ö., Pathak P.H., Chou H-T., ve Nepa P., A hybrid UTD-MoM for efficient analysis of EM radiation/scattering from large finite planar arrays, *Radio Science*, 35, 2 , 607-620, 2000.

AYDIN CİVİ Ö., Extension of Forward Backward Method with DFT Based Acceleration Algorithm for The Efficient Analysis of Radiation/Scattering from Large Finite Printed Dipole Arrays, *Microwave and Optical Technology Letters*, 37, 1, 20-26, 2003.

BAKIR O., Aydin Civi Ö., Erturk V.B., Chou H-T., Efficient Analysis of Phased Arrays of Microstrip Patches Using A Hybrid Generalized Forward Backward Method/Green's Function Technique with a DFT Based Acceleration Algorithm, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56, 6, 1669-1678, 2008

BALANIS C.A., *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, New York, (1989).

BERTONCİNİ F., Aydin Civi O., Ertürk V. B., Manara G. ve Nepa P., Scattering from finite periodic surfaces: a comparison between integral equation and ray techniques, 2004 URSI EMTS International Conference on Electromagnetics Theory, Pisa-Italy, 2004, pp. 843-845.

CARIN L. ve Felsen L. B., Time harmonic and transient scattering by finite periodic flat strip arrays: hybrid (Ray)-(Floquet mode)-(MoM) algorithm and its interpretation, *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, 41, 4, 412-421, 1993.

CETİN R., Aydin Civi Ö., Nepa P., Manara G., Electromagnetic Scattering from Obstacles in the Near Field Region of Electrically Large Arrays, ICEAA'09 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, Turin-Italy, 2009, pp.678-681.

CHOU H-T, Ho H-K, Pathak P.H., Nepa P. ve Civi O. A., An Efficient Approach based on Discrete Fourier Transform -Moment Method for the Fast Analysis of Large Rectangular Array, *IEE Proceedings- Microwave, Antennas and Propagation*, 149, 1, 1-6, 2002.

CUCUNI A., High-Frequency Green's Function for Planar Periodic Phased Arrays with Skewed Grid and Polygonal Contour, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 54, 12, 3659-3668, 2006.

MANARA G., Nepa P., Bertoncini F., Aydin Civi Ö., ve Erturk V.B, Electromagnetic Scattering From a Finite Strip, 28th General Assembly of URSI, New Delhi-India, 2005.

MERSEREAU R. M., The processing of hexagonally sampled two-dimensional signals, *IEEE Proceedings*, 67, 6, 930-949, 1979.

NEPA P., Pathak P.H., Çivi Ö. ve Chou H-T., A DFT based UTD ray analysis of the EM radiation from electrically large antenna arrays with tapered distributions, IEEE- APS'99, Orlando-USA, (1999), p.87.

NEPA P., Pathak P.H., Janpugdee P. ve Chou H.T., An extended 3D spectral UTD analysis of large finite antenna arrays, Proc. ICEAA'99, Turin, Italy, (1999), pp.229-232.

SERRA A.A., Nepa P., Manara G., Celandroni T., Aydın Civi O., UTD Fields Radiated by Electrically Large Hexagonal Arrays with Realistic Current Distributions, 29th General Assembly of URSI, Chicago-USA, 2008.

Ek.1 Proje Kapsamında Yapılan Yayınlar ve Tezler

Konferans Kitapçıklarında Yayınlanan Bildiriler

1. A.A. Serra, P. Nepa, G. Manara, T. Celandroni, O.A. Civi, "UTD Fields Radiated by Electrically Large Hexagonal Arrays with Realistic Current Distributions", *29th General Assembly of URSI*, Chicago-USA, August 7-16 2008.

2. Ramazan Cetin, Ozlem Aydin Civi, Paolo Nepa, Giuliano Manara, "Electromagnetic Scattering from Obstacles in the Near Field Region of Electrically Large Arrays", *ICEAA'09 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications*, Turin-Italy, p.678-681, Sept.14-18, 2009

Yüksek Lisans Tezi

Ramazan Çetin, "Development Of Hybrid UTD-MoM Method For The Analysis Of Scattering From Objects Nearby Large Finite Arrays (Büyük Sonlu Dizi Antenlerin Yakınındaki Objelerden Saçınım Analizi İçin Kırınım Teorisi Ve Momentler Yöntemine Dayalı Hibrit Yöntem Geliştirilmesi)", ODTÜ, (Tez Danışmanı: Özlem Aydın Çivi)

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No:107E293
Proje Başlığı: ANALYSIS OF THE RADIATION FROM APERTURE/PRINTED ANTENNAS IN THE PRESENCE OF PERIODIC STRUCTURES THROUGH NUMERICAL AND ASYMPTOTIC TECHNIQUES (PERİYODİK YAPILARDAKİ AÇIKLIK/BASKI ANTENLERDEN İŞİMANIN SAYISAL VE ASİMPOTİK TEKNİKLERLE ANALİZİ)
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Özlem Aydın Çivi, Ramazan Çetin CNR – İtalyan Ortak: Paolo Nepa, Giuliano MANARA
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06531 CNR – İtalyan Ortak: University of Pisa, Dept. of Information Eng., I-56126 Pisa, Italy
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK ve CNR
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1.3.2008- 28.2.2010
Öz (en çok 70 kelime) Projede, yakınında saçıcıların bulunduğu elektriksel olarak büyük anten dizilerinin ışınma/saçınma problemini etkin bir şekilde analiz etmek için yöntem geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu yöntem elektriksel olarak büyük dizilerinin asimptotik ışın alan gösterimine ve dizi akımlarının Ayrık Fourier Dönüşüm ifadelerine dayanmaktadır. Gerçekçi anten dizilerinin üzerindeki akım dağılımının Ayrık Fourier Dönüşümünün, dizinin yakınında saçınmaya yol açabilecek nesnel olduğu durumda bile belli bir bölgede yoğunlaşmış olduğu gösterilmiştir. Yöntemin doğruluğu ve etkinliği sayısal örnekler üzerinden tartışılmıştır.
Anahtar Kelimeler: büyük dizi antenler, momentler yöntemi, dizilerin asimptotik analizi
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: 1. A.A. Serra, P. Nepa, G. Manara, T. Celandroni, O.A. Civi, "UTD Fields Radiated by Electrically Large Hexagonal Arrays with Realistic Current Distributions", <i>29th General Assembly of URSI</i> , Chicago-USA, August 7-16 2008. 2. Ramazan Cetin, Ozlem Aydın Civi, Paolo Nepa, Giuliano Manara, "Electromagnetic Scattering from Obstacles in the Near Field Region of Electrically Large Arrays", <i>ICEAA'09 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications</i> , Turin-Italy, p.678-681, Sept.14-18, 2009

Electromagnetic Scattering from Obstacles in the Near Field Region of Electrically Large Arrays

Ramazan Cetin¹, Ozlem Aydin Civi¹, Paolo Nepa², Giuliano Manara²

Abstract – In this paper, an efficient method for the analysis of electromagnetic scattering/radiation from the obstacles nearby electrically large array antennas, with nonuniform excitation, is proposed. The approach is based on the combination of a ray field representation of electrically large arrays and a DFT (Discrete Fourier Transform) based representation of array current distribution. Proposed method is applied to a 2D problem: Radiation of a linear array of $2N+1$ infinitely long current elements with tapered current distribution in the presence of an infinitely long PEC (Perfect Electric Conductor) cylinder. Accuracy and efficiency of the method is discussed by numerical examples.

1 INTRODUCTION

Recently, electrically large arrays are widely used in several applications such as radars, remote sensing systems, and modern communication systems. In general, these arrays radiate in the presence of nearby obstacles. Furthermore, another interesting problem that needs similar solution methods is the analysis of scattering from finite periodic structures in the presence of the radiating element. Examples of these structures are frequency selective screens, radomes, composite materials consisting of periodic structures like EBG (Electromagnetic Bandgap) or PBG (Photonic Bandgap) and metamaterials. Another important and not efficiently solved problem is the analysis of antennas on periodic structures. Thus, it is important to develop fast and accurate methods to analyze radiation of large arrays or scattering from periodic structures in the presence of obstacles. However, the analysis is not simple because the periodic structure in the presence of an obstacle (or radiating element) is no more periodic.

In this study, an efficient method for the analysis of electromagnetic scattering from obstacles in the near field region of electrically large arrays is proposed. The approach is based on the combination of a ray-field representation of the field radiated by electrically large arrays and a DFT representation of nonuniform array current distribution. For realistic array current distributions, most of the DFT coefficients are close to zero, there are only a few significant terms. Thus, a reduced number of DFT coefficients is sufficient to obtain the radiated field satisfactorily. When the DFT expansion of array

currents is substituted in the field expression, the fields of nonuniform arrays can be represented as a sum of fields of linear arrays with uniform current distributions. Then, UTD (Uniform Theory of Diffraction) ray solution of uniform linear arrays is used for each significant DFT term. Thus, it is possible to extract the effects of the obstacles on the array fields by using only a few rays emerging from the specific points of the uniform arrays. It has been shown that less than 25% of the total DFT spectral components can be sufficient to recover the main beam and a few side lobes for most practical phased arrays [1, 2].

In the following section, problem geometry is defined and formulation is given. Furthermore, preliminary numerical results are given to discuss accuracy and efficiency of the proposed method.

2 FORMULATION AND NUMERICAL RESULTS

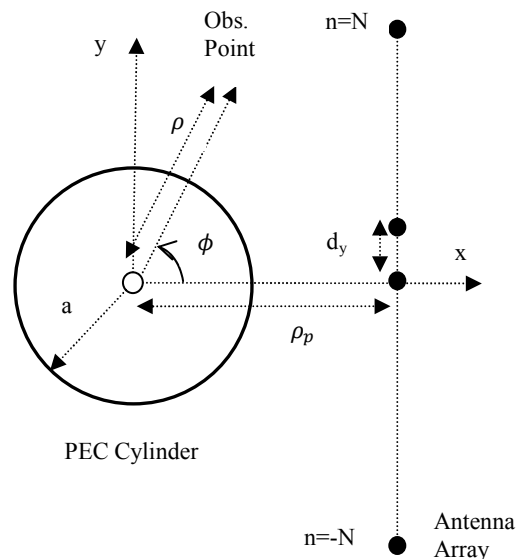


Figure 1: Problem geometry: $2N+1$ element linear array with an interelement spacing d_y in the presence of an infinitely long PEC cylinder of radius a

¹ Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Middle East Technical University, 06531, Ankara, Turkey
e-mail: rctin@metu.edu.tr, ozlem@metu.edu.tr

² Dept. of Information Engineering, University of Pisa, Via G. Caruso 16, I-56126 Pisa, Italy
e-mail: p.nepa@iet.unipi.it, g.manara@iet.unipi.it

As the first step, the proposed method is applied to a 2D problem: Radiation of a linear array of $2N+1$ infinitely long current elements in the presence of an infinitely long PEC cylinder, all parallel to each other and extending in z direction as shown in Figure 1.

It is assumed that there is a tapered current distribution on the array, such as Taylor distribution. By using the DFT expansion of the array current distribution (2), fields of nonuniform array distributions (1) can be represented as the sum of fields of linear arrays with uniform current distributions (4) as follows:

$$\mathbf{E}^{tot}(\boldsymbol{\rho}) = \sum_{n=-N}^{n=N} I_n \mathbf{E}^{el}(\boldsymbol{\rho}, \boldsymbol{\rho}_n') \quad (1)$$

$$I_n = \sum_{k=-N}^{k=N} \tilde{I}_k e^{-j2\pi \frac{kn}{2N+1}} \quad (2)$$

$$\mathbf{E}^{tot}(\boldsymbol{\rho}) = \sum_{n=-N}^{n=N} \left(\sum_{k=-N}^{k=N} \tilde{I}_k e^{-j2\pi \frac{kn}{2N+1}} \right) \mathbf{E}^{el}(\boldsymbol{\rho}, \boldsymbol{\rho}_n') \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{E}^{tot}(\boldsymbol{\rho}) &= \sum_{k=-N}^{k=N} \tilde{I}_k \left(\underbrace{\sum_{n=-N}^{n=N} e^{-j2\pi \frac{kn}{2N+1}} \mathbf{E}^{el}(\boldsymbol{\rho}, \boldsymbol{\rho}_n')}_{\text{field of array with uniform current distribution}} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

where \tilde{I}_k 's are DFT coefficients for I_n .

In other words, the linear array is decomposed in $(2N+1)$ superimposed $(2N+1)$ element linear arrays with uniform excitation. It has been observed that in DFT representations of practical array currents, there are only a few DFT coefficients which are significantly large. Most of the DFT coefficients are either zero or very close to zero, [1-3]. By using only these significant terms, the radiation field is reconstructed effectively.

As the first numerical example, a 21 element linear array with excitation of Taylor distribution for -35 dB side lobe level is considered. The interelement spacing of the array is $d_y=0.5\lambda$, the radius of PEC cylinder is $a=0.3\lambda$, source point is at least $\rho_p=0.5\lambda$ away from the center of PEC cylinder and fields are evaluated on a circle of radius $\rho=0.6\lambda$. DFT coefficients of currents are plotted on Figure 2. From the Figure, it can be observed that only a few DFT coefficients are significantly large. Fields scattered from the cylinder are evaluated by element-by-element summation and DFT method, and are plotted and compared in Figure 3. The plot shows that the

field pattern calculated by equation (4) using only the dominant DFT term is slightly different than the actual pattern. However, by adding two neighboring DFT coefficients to the dominant, the fields are calculated quite accurately.

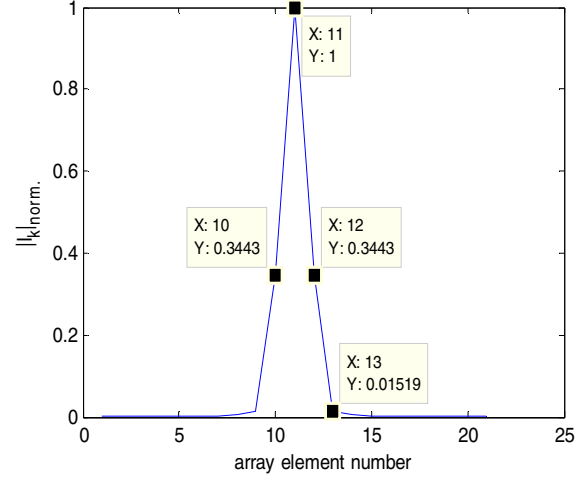


Figure 2: Normalized amplitude, Discrete Fourier Transform of Taylor current distribution for -35 dB side lobe level

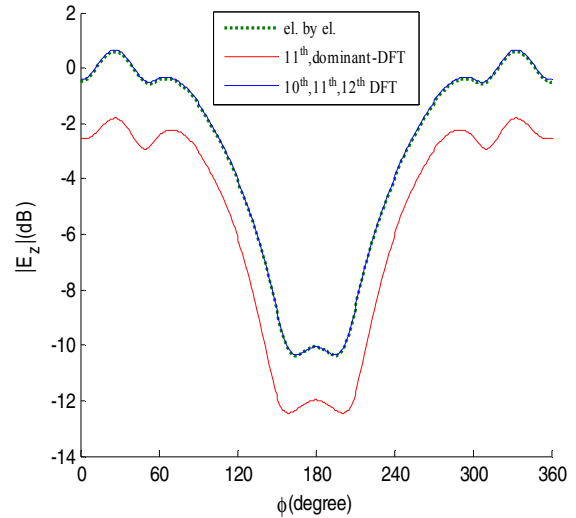


Figure 3: Fields scattered from PEC illuminated by a 21 element linear array, $\rho_p=0.5\lambda$, $\rho=0.6\lambda$, $a=0.3\lambda$, $d_y=0.5\lambda$

In Figure 4, field pattern evaluated at $\rho=20\lambda$ for the same array configuration is given. As observed from the Figure, employing three central DFT terms is quite sufficient to get an accurate field pattern.

As a last example, linear progressive phase shift is applied to the array to rotate the main beam to 45° . Scattered fields on $\rho=20\lambda$ circle obtained by using only the dominant DFT term and three central DFT terms are plotted and compared with the actual

patterns in Figure 5. Maximum radiation is concentrated around the steering angle, as expected. Although fields obtained by using only the dominant DFT term coincide with the fields evaluated by element-by-element method in the main lobe, the agreement is not so good for far side lobes. However, it is observed that the use of three central DFT terms results in very good agreement over all angles.

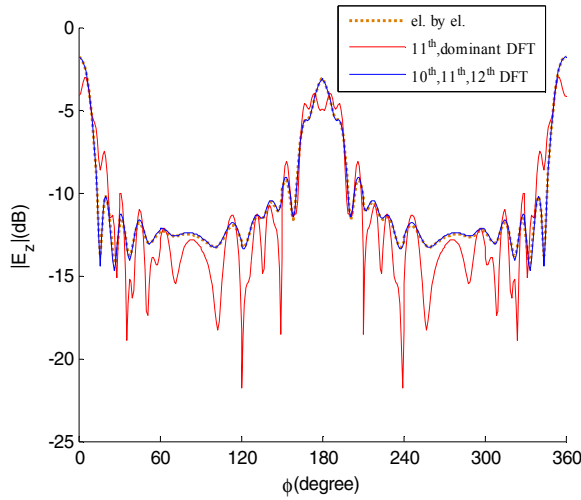


Figure 4: Fields scattered from PEC illuminated by a 21 element linear array, $\rho_p=0.5\lambda$, $\rho=20\lambda$, $a=0.3\lambda$, $d_y=0.5\lambda$

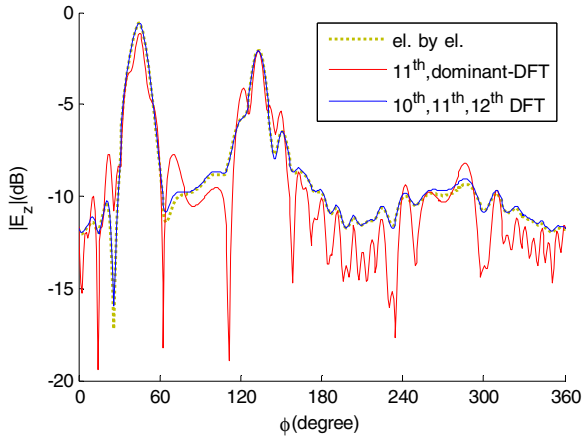


Figure 5: Fields scattered from PEC illuminated by a 21 element linear array with progressive phase shift required to rotate main beam to 45° from the array axis, $\rho_p=0.5\lambda$, $\rho=20\lambda$, $a=0.3\lambda$, $d_y=0.5\lambda$.

From these examples, it can be concluded that a few DFT coefficients of the currents are sufficient to evaluate fields accurately for practical array excitations. This fact can be used in conjunction with MoM (Method of Moment) formulation for the solution of unknown currents of arrays in the presence

of obstacles to reduce the number of unknowns significantly, [3]. Consequently, this will reduce the calculation time significantly compared to conventional MoM solution.

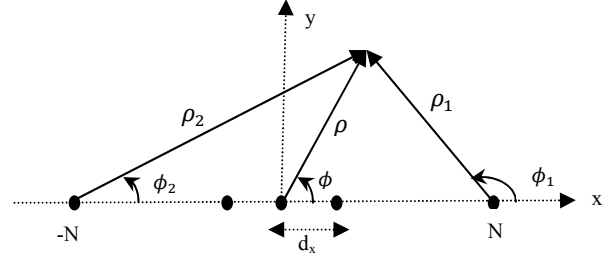


Figure 6: Geometry of $2N+1$ array used for UTD analysis

For further reduction in computation time, UTD ray picture of uniform linear arrays [4], are used for each DFT term in the field expression. UTD ray picture describes the fields radiated from an array in terms of a few rays emerging from the ends of the array and truncated Floquet modes [4, 5]. UTD field expression obtained for the $2N+1$ linear array shown in Figure 6 is as follows

For $k\rho_{1,2} \gg 1$,

$$\begin{aligned}
 E_z(\rho) \sim & \frac{C'}{2} I_N e^{-jkNd_x \cos \phi_0} \frac{e^{-jk\rho_1}}{\sqrt{\rho_1}} + \\
 & \frac{C'}{2} I_{-N} e^{jkNd_x \cos \phi_0} \frac{e^{-jk\rho_2}}{\sqrt{\rho_2}} + \\
 & \frac{-2C}{(2N+1)d_x} \sum_{q=-\infty}^{q=\infty} \frac{\tilde{I}_q}{k_y^q} e^{j2\pi \frac{Nq}{2N+1}} e^{-jk_x^q x} e^{-jk_y^q y} * \\
 & U(\phi_1 - \phi_q^{sb}) U(\phi_q^{sb} - \phi_2) + \\
 & \frac{-jC/\pi}{(2N+1)kd_x} \sqrt{\frac{2\pi j}{k}} \sum_{q=-\infty}^{q=\infty} \tilde{I}_q e^{j2\pi \frac{Nq}{2N+1}} * \\
 & \frac{e^{-jk_x^q Nd_x}}{(\cos \phi_1 - \cos \phi_q)} \frac{e^{-jk\rho_1}}{\sqrt{\rho_1}} F(k\rho_1 a_1) + \\
 & \frac{jC/\pi}{(2N+1)kd_x} \sqrt{\frac{2\pi j}{k}} \sum_{q=-\infty}^{q=\infty} \tilde{I}_q e^{j2\pi \frac{Nq}{2N+1}} * \\
 & \frac{e^{jk_x^q Nd_x}}{(\cos \phi_2 - \cos \phi_q)} \frac{e^{-jk\rho_2}}{\sqrt{\rho_2}} F(k\rho_2 a_2) \quad (6)
 \end{aligned}$$

where, $C = -\frac{k^2}{4\omega\epsilon}$, $C' = \frac{-1}{\sqrt{\mu/\epsilon}} \sqrt{\frac{jk}{8\pi}}$,

$k_x^q = k \cos \phi_q$, $k_y^q = k \sin \phi_q$,

$$\rho_1 \cos \phi_1 = x - Nd_x, \quad \rho_2 \cos \phi_2 = x + Nd_x,$$

$$\rho_1 \sin \phi_1 = \rho_2 \sin \phi_2 = y,$$

$$a_{1,2} = 1 - \cos(\phi_q - \phi_{1,2})$$

$$\phi_q^{sb} = \text{Re}(\phi_q) - tg^{-1}(\sinh(\text{Im}(\phi_q))),$$

I_n is the current on the n th element, $U(\cdot)$ is the Heaviside step function, $F(\cdot)$ is the Fresnel transition function, and ϕ is measured from the array axis.

This expression consists of truncated Floquet modes and Floquet diffracted rays from the edges of the array.

By using this UTD field representation for each significant DFT term in the field expression given in equation (4), scattered fields of linear array from nearby PEC cylinder can be efficiently calculated both in near and far zones.

3 CONCLUSIONS

A method based on DFT expansion of array currents and UTD ray picture of linear arrays has been developed for the analysis of radiation/scattering of linear arrays in the presence of obstacles. This method can be easily extended to planar arrays in the presence of nearby obstacles (or radiating element on the planar periodic structures) by considering the planar array as an array of linear arrays and following a similar procedure summarized in this paper.

More numerical results will be presented at the conference to show the accuracy and efficiency of the proposed DFT-UTD method for calculating the fields in the near and far zones radiated by linear arrays with realistic current distributions in the presence of PEC cylinder. Work is in progress to extend this technique to planar arrays in the presence of nearby objects.

4 ACKNOWLEDGEMENTS

This research activity has been developed in the framework of a joint bilateral agreement between CNR (Italy) and TUBITAK (107E293) (Turkey), 2008/09. Project title: "Analysis of the radiation from aperture/printed antennas in the presence of periodic structures through numerical and asymptotic techniques".

5 REFERENCES

- [1] P. Nepa, P. Pathak, Ö. Civi and H-T. Chou, "A DFT based UTD ray analysis of the EM radiation from electrically large antenna arrays with tapered distributions", *IEEE-APS'99*, Orlando-USA, p.87, July 1999.
- [2] P. Nepa, P.H. Pathak, P. Janpugdee and H.T. Chou, "An extended 3D spectral UTD analysis of

large finite antenna arrays", *Proc. ICEAA'99*, Turin, Italy, pp.229-232, September 1999.

- [3] H.-T. Chou, H.-K. Ho, P. H. Pathak, P. Nepa and O. A. Civi, "An efficient approach based on Discrete Fourier Transform-Moment Method for the fast analysis of large rectangular array", *IEE Proceedings-Microwave, Antennas and Propagation*, vol. 149, no.1, p.1-6, February 2002.
- [4] L. Carin and L. B. Felsen, "Time harmonic and transient scattering by finite periodic flat strip arrays: hybrid (Ray)-(Floquet mode)-(MoM) algorithm and its interpretation," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol.41, no.4, pp.412-421, April 1993.
- [5] Ö. Aydın Civi, Prabhakar H. Pathak, H-T. Chou and P. Nepa, "A hybrid UTD-MoM for efficient analysis of EM radiation/scattering from large finite planar arrays", *Radio Science*, vol. 35, no. 2, p.607-620, 2000.

UTD Fields Radiated by Electrically Large Hexagonal Arrays with Realistic Current Distributions

A.A. Serra¹, P. Nepa¹, G. Manara¹, T. Celandroni¹, O.A. Civi²

¹Dept. of Information Engineering, University of Pisa

Via G. Caruso 16, I-56126 Pisa, Italy

ph: +39-050-2217511, fax: +39-050-2217522

andrea.serra@iet.unipi.it, p.nepa@iet.unipi.it, g.manara@iet.unipi.it, tommaso.celandroni@iet.unipi.it

²Dept. of Electrical and Electronics Eng., Middle East Technical University

Ankara 06531, Turkey

ph. +90-3122104564, fax: +90-312-2101261

ozlem@metu.edu.tr,

Abstract

Uniform Geometrical Theory of Diffraction (UTD)-based efficient descriptions of the field radiated by electrically large linear and rectangular planar phased arrays have been developed under the hypothesis of uniform current distributions. More recently they have been extended to relatively arbitrary current taperings by resorting to a Discrete Fourier Transform (DFT) representation of the array current excitation. In this paper, the DFT-UTD based technique is extended to deal with the efficient evaluation of the near- and far-field radiated by hexagonal arrays made of free-standing dipoles in a triangular lattice. To face with arrays on hexagonal lattices, the Hexagonal DFT (HDFT) is exploited.

1. Introduction

Electrically large arrays with more than thousand of elements are often and often being applied in advanced radars, in remote sensing systems, as well as in modern satellite communication systems. Due to the huge number of radiating elements, ray techniques for either the analysis or the synthesis of arrays radiating in the presence of close by obstacles become rapidly inefficient when an element-by-element summation is used to combine the scattered field contributions generated at reflecting surfaces or diffracting edges nearby the antenna. To speed up both iterative synthesis and analysis techniques for electrically large arrays, high frequency expressions for the field collectively radiated from the whole array have been investigated. Carin and Felsen [1] represented the field radiated by a linear array (1D problem) as the summation of truncated Floquet-based wave contributions plus diffracted-like contributions excited at the array ends. Since in practical large arrays the interelement distance is smaller than the free-space wavelength, the Floquet wave expansion is fast convergent and only very few terms are needed when the observation point is located in the far field region of each array element and a few wavelengths from the array boundaries. The above UTD-based approach is based on the utilization of the Poisson's summation to transform the element-by-element summation to a Floquet series expansion. Then, for each integral term of the Floquet summation a high frequency expression can be derived by extending standard asymptotic techniques to the case of inhomogeneous plane wave illumination (Kouyoumjian et al., [2]). Starting from the work in [1], high frequency expressions for the field radiated by rectangular planar arrays of free-standing dipoles have been derived, when a uniform current excitation is considered (except for a linear phase shift) [3]. Specifically, these ray fields are associated with, first, the local periodic structure Floquet modes whose fields are truncated in space because of the finite number of array elements. Second, there are additional rays which arise from the diffraction of those propagating and evanescent Floquet modes at the truncation of the finite array (edges and corners). The resulting ray field representation for the near field radiated by electrically large phased arrays is very accurate, and usually only the propagating Floquet modes must be considered (often only the dominant mode must be considered since grating lobes are avoided in practical antennas). Non-rectangular arrays of free-standing dipoles with a skewed grid have also been considered. In [4-5], the arbitrary polygonal array has been decomposed in linear arrays, whose contribution can be evaluated asymptotically as in the previous works for 1D arrays [1]. A more efficient approach has been presented in [6], where the decomposition in linear arrays has been avoided and a ray field representation has been derived which has the same structure as that originally derived for planar rectangular arrays.

The ray description of the field radiated from large arrays can be introduced in UTD based numerical codes (as for instance, the Basic Scattering Code) for an efficient evaluation of the effects of obstacles, which can be located in the near field region of electrically large array antennas. However, most of the existing ray solutions for large arrays [3-6] are strictly valid for uniform array current distributions, except for a linear phase shift that can account for the main beam steering. Conversely, arrays for advanced systems (multibeam and shaped beam arrays, low side-lobe-level antennas) are always characterized by tapered current distributions. Due to the mutual coupling effects, even standard corporate-feed arrays with a uniform voltage excitation do exhibit a non uniform current excitation with a relatively large ripple in the close-to-edge regions. It is then apparent that the application of the above high frequency expressions to realistic arrays do require their extension to arbitrary current distributions. In this context, an elegant approach is based on the introduction of a slope-like contribution to account for weakly tapered distributions [7]. Another attempt to extend the UTD to deal with highly non-uniform excitations is based on expanding the current distribution over the finite array in an exact fashion through a finite set of its spectral components, namely the traveling waves (TWs), by resorting to the Discrete Fourier Transform (DFT) [4, 8-9]. The DFT synthesized array current distribution (the latter being a finite discrete sequence) allows us to represent the field radiated by non-uniform array distributions as the sum of the fields radiated by uniform distributions, so that the procedure in [3-6] can be easily applied for each of them. It is worth noting that the number of the spectral components equals the number of array elements. Nevertheless, the compactness of the DFT spectrum for real antenna current distributions renders the DFT-UTD expressions very efficient. Indeed, it has been shown in [8-9] that less than 25 % of the total DFT spectral components can be sufficient to recover the main beam and the first side lobes for most practical phased arrays. Specific attention has been devoted to the accuracy of the DFT-UTD solution in evaluating the field radiated by a phased array in its near field region. Moreover, the DFT approach is valid for arbitrary current distributions thus allowing the application of the DFT-UTD based approach to provide efficient iterative procedures for synthesizing desired large array antenna distributions in the presence of any obstacle, as for instance radomes or reflectors, lying in their antenna near field region.

The DFT-UTD approach is based on a TW expansion of the array current sequence, where the finite set of vector wavenumbers are constrained along specific spectral directions dictated by the number of array elements. More recently, an approximate traveling wave expansion for the UTD analysis of large arrays has been proposed in [10] to represent the array current distribution as a summation of a few uniform linearly phased current distributions. It is worth noting that the number of TWs required by the approximate TW expansion in [10] is usually less than that required by a truncated DFT expansion, to obtain the same accuracy. On the other hand, the determination of the vector wavenumbers and complex amplitude of each TW component requires the implementation of parameter estimation algorithms that are more complex than a standard DFT (or Fast Fourier Transform, FFT). Finally, it is worth noting that the increasing of the number of the TW terms in a DFT expansion will guarantee the convergence to the actual array current sequence, so resulting in a robust approximate technique.

In [11], the DFT-UTD representation of the far-field radiated by large arrays has been combined with a standard synthesis algorithm for generating a contoured beam in satellite antenna planar arrays. The approach employs the DFT representation for the actual array amplitude distribution; each DFT global basis set for the array distribution radiates a local radiation basis function (spot beam) which can be expressed in closed form and interpreted in terms of the UTD ray concept. The advantages of the approach are that only a few spot beams are sufficient to synthesize a contoured pattern. In the context of array synthesis procedures the decomposition of the far-field in a finite summation of spot beams is not new, and some advanced decompositions based on more effective basis functions has been proved to enable a faster converge of synthesis algorithms. However, the DFT representation has the major advantage of allowing for a combination with a ray representation of the field radiated by an array uniformly excited [3-5]. Moreover, each term, namely a spot beam, has a clear physical interpretation which can be determinant in the estimation of the effects of obstacles located in the array near-field region.

2. HDFT-UTD Analysis of Large Hexagonal Arrays

It is well known that by arranging the elements of a phased planar antenna array in a triangular grid (namely, a hexagonal array lattice) rather than a rectangular grid, the number of elements needed in the array is reduced (a hardware saving of at least 13.4% can be achieved). Moreover, the hexagonal arrangement effectively suppresses grating lobes.

A UTD representation of the field radiated by hexagonal arrays with a triangular lattice has been derived in [6] for the most general case of a polygonal planar array. The field expressions, which are strictly valid for uniform current excitations, are similar to those derived for a planar rectangular array [3] except for a more complex term

related to the Floquet-wave induced vertex diffraction. The extension of the expressions in [6] to actual arrays with realistic non-uniform current taperings can be obtained by representing the arbitrary current excitation (which is a finite sequence of complex values) as a finite summation of uniform current distributions with a linear phase shift. This can be done by using the HDFT which has been extensively studied in the past for its interesting properties in two dimensional signal processing [12-16].

In this paper, the current excitation on a large hexagonal array is calculated through a full-wave moment method code, for some common voltage taperings. Then, by combining the UTD expressions derived in [6] with a HDFT representation of the above current sequence, an accurate evaluation of both the near-field and far-field is obtained by resorting to a few HDFT components, due to the high-directivity feature of electrically large arrays. Numerical results will be shown with reference to current taperings which guarantee specific pattern performance. The interesting features of the HDFT when applied to array antenna problems will be discussed.

The availability of efficient and accurate HDFT-UTD ray descriptions of the near field of an electrically large hexagonal phased array constitutes an appealing tool for the analysis and synthesis of arrays mounted on complex platforms. For example, it can be applied in an iterative pattern synthesis procedure that account for the field scattered from obstacles located in the near field region of the same array. Moreover, it can be used in conjunction with a ray tracing analysis of the transmission properties of curved dielectric radomes enclosing large phased arrays. In all these applications, it is expected that the HDFT-UTD based expressions for the near field are more efficient than the conventional element-by-element summation. Specifically, the HDFT-UTD can account for completely arbitrary current distributions without any restriction to array current sequences, including also the cases in which the latter cannot be approximated by continuous functions with a weak spatial variation. Moreover, a HDFT-UTD based numerical code can be applied to evaluate the near field with any degree of accuracy, as it is sufficient to run the same code just increasing the number of DFT terms, finally obtaining the exact results if all of the HDFT terms (namely a number of elements equal to the number of array elements) is included. However, this will never become necessary, since the compactness of the HDFT spectrum of an array current distribution is intrinsically related to the fact that an electrically large array is always designed to provide a narrow pencil beam.

Finally, the HDFT-UTD approach can be combined with either a MoM code or a generalized forward-backward method to derive a full-wave numerical tool for the efficient analysis of electrically large hexagonal arrays, as already done in [17-18] for rectangular planar arrays.

3. Conclusions

An efficient HDFT-UTD representation of the field radiated by a hexagonal array of free-standing dipoles in a triangular lattice has been addressed, Sample of numerical results will be presented at the conference to show the accuracy and the efficiency of the HDFT-UTD method for calculating the near-field radiated by hexagonal arrays with realistic current distributions obtained from a method of moment full-wave analysis. Work is in progress to extend this technique to hexagonal planar arrays of printed antennas.

4. Acknowledgments

This research activity has been developed in the framework of a joint bilateral agreement between CNR (Italy) and TUBITAK (Turkey), 2008/09. Project title: "Analysis of the radiation from aperture/printed antennas in the presence of periodic structures through numerical and asymptotic techniques".

5. References

1. L. Carin and L. B. Felsen, "Time harmonic and transient scattering by finite periodic flat strip arrays: hybrid (Ray)-(Floquet mode)-(MoM) algorithm and its interpretation," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, April 1993.
2. R.G. Kouyoumjian, G. Manara, P. Nepa, and B.J.E. Taute, The diffraction of an inhomogeneous plane wave by a wedge, *Radio Science*, 31(6), 1996, pp. 1387-1398.
3. S. Maci, F. Capolino, and L. B. Felsen, "Three dimensional Green's function for planar rectangular phased dipole arrays," *Wave Motion, Sp. Issue on Electrodynamics in Complex Environ.*, vol. 34, Sept. 2001, pp. 263-279.

4. P. Nepa, P.H. Pathak, P. Janpugdee, H.-T. Chou, "An Efficient DFT-UTD Based Evaluation of the Field radiated by Electrically Large Phased Arrays," *Proc. of XIII Italian National Meeting on Electromagnetics*, Como, Italy, September 2000.
5. F. Martini, A. Toccafondi, S. Maci, and R. Tiberio, "Floquet Wave-Based Diffraction Approach for Irregularly Contoured Planar Phased Arrays," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 2, 2003, pp. 246-249.
6. A. Cucini, "High-Frequency Green's Function for Planar Periodic Phased Arrays with Skewed Grid and Polygonal Contour," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 12, December 2006, pp. 3659-3668.
7. F. Mariottini, F. Capolino, S. Maci, and L. B. Felsen, "Asymptotic High-Frequency Green's Function for a Large Rectangular Planar Periodic Phased Array of Dipoles With Weakly Tapered Excitation in Two Dimensions," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 2, February 2005, pp. 608-620.
8. P. Nepa, P. H. Pathak, O. A. Civi, and H.-T. Chou, "A DFT-Based UTD Ray Analysis of the EM Radiation from Electrically Large Antenna Arrays with Tapered Distributions," *1999 AP-S URSI Intern. Symp.*, July 1999.
9. P. Nepa, P. H. Pathak, P. Janpugdee, and H.-T. Chou, "An extended 3D spectral UTD analysis of large finite antenna arrays," *Proc. ICEAA '99*, Turin, Italy, 1999, pp. 229-232.
10. P. Janpugdee, P. H. Pathak, and R. J. Burkholder, "A New Travelling Wave Expansion for the UTD Analysis of the Collective Radiation from Large Finite Planar Arrays," *IEEE Antennas and Propag. Symp.*, 2005, pp. 22-25.
11. H.-T. Chou, Y.-T. Hsaio, P. H. Pathak, P. Nepa, and P. Janpugdee, "A Fast DFT Planar Array Synthesis Tool for Generating Contoured Beams," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 3, 2004, pp. 287-290.
12. E. Sharp, "A triangular arrangement of planar-array elements that reduces the number needed," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 9 no. 2, March 1961, pp. 126 – 129.
13. R. M. Mersereau, "The processing of hexagonally sampled two-dimensional signals," *IEEE Proceedings*, vol. 67, no. 6, June 1979, pp. 930-949.
14. A. M. Grigoryan, "Efficient algorithms for computing the 2-D hexagonal Fourier transforms," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 50, n. 6, June 2002, pp. 1438-1448.
15. J. Weed, R. Polge, "An efficient implementation of a hexagonal FFT," *ICASSP '84, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*. Vol. 9, Mar 1984, pp.488 – 491.
16. L.E. Corey, J.C. Weed, T.C. Speake, "Modeling triangular packed array antennas using a hexagonal FFT," *IEEE Antennas and Propag. Symp.*, 1984, pp. 507-510.
17. H-T Chou, H-K Ho, P.H. Pathak, P. Nepa and O. A. Civi, "Efficient hybrid discrete Fourier transform-moment method for the fast analysis of large rectangle arrays," *IEE Proceedings- Microwave, Antennas and Propagation*, vol. 149, no. 1, February 2002, p.1-6.
18. O. BakÄ±r, O. Aydin Civi, V. B. Erturk, H.-T. Chou, "Efficient Analysis of Phased Arrays of Microstrip Patches Using A Hybrid Generalized Forward Backward Method/Green's Function Technique with a DFT Based Acceleration Algorithmâ," to appear in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2008.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No:107E293
Proje Başlığı: ANALYSIS OF THE RADIATION FROM APERTURE/PRINTED ANTENNAS IN THE PRESENCE OF PERIODIC STRUCTURES THROUGH NUMERICAL AND ASYMPTOTIC TECHNIQUES (PERİYODİK YAPILARDAKİ AÇIKLIK/BASKI ANTENLERDEN IŞIMANIN SAYISAL VE ASİMPOTİK TEKNİKLERLE ANALİZİ)
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Özlem Aydın Çivi, Ramazan Çetin CNR – İtalyan Ortak: Paolo Nepa, Giuliano MANARA
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06531 CNR – İtalyan Ortak: University of Pisa, Dept. of Information Eng., I-56126 Pisa, Italy
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK ve CNR
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1.3.2008- 28.2.2010
Öz (en çok 70 kelime) Projede, yakınında saçıcıların bulunduğu elektriksel olarak büyük anten dizilerinin ışınma/saçınma problemini etkin bir şekilde analiz etmek için yöntem geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu yöntem elektriksel olarak büyük dizilerinin asimptotik ışın alan gösterimine ve dizi akımlarının Ayrık Fourier Dönüşüm ifadelerine dayanmaktadır. Gerçekçi anten dizilerinin üzerindeki akım dağılımının Ayrık Fourier Dönüşümünün, dizinin yakınında saçınmaya yol açabilecek nesnelere olduğu durumda bile belli bir bölgede yoğunlaşmış olduğu gösterilmiştir. Yöntemin doğruluğu ve etkinliği sayısal örnekler üzerinden tartışılmıştır.
Anahtar Kelimeler: büyük dizi antenler, momentler yöntemi, dizilerin asimptotik analizi
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: 1. A.A. Serra, P. Nepa, G. Manara, T. Celandroni, O.A. Civi, "UTD Fields Radiated by Electrically Large Hexagonal Arrays with Realistic Current Distributions", <i>29th General Assembly of URSI</i> , Chicago-USA, August 7-16 2008. 2. Ramazan Cetin, Ozlem Aydın Civi, Paolo Nepa, Giuliano Manara, "Electromagnetic Scattering from Obstacles in the Near Field Region of Electrically Large Arrays", <i>ICEAA'09 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications</i> , Turin-Italy, p.678-681, Sept.14-18, 2009