

Çok Uzun Arazi Profillerinde Yayınım için Hızlı İntegral Denklem Çözümü: Ölçümlerle ve Mevcut Yayınım Modelleriyle Karşılaştırmalar

Celal Alp Tunç, celal@ee.bilkent.edu.tr
Ayhan Altintas, altintas@ee.bilkent.edu.tr
Vakur B. Erturk, vakur@ee.bilkent.edu.tr

Bilkent Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Bilkent, Ankara

Özet

Çok geniş ölçekli arazi kesitlerinden dalga yayını, Spektral Hızlandırılmış İleri-Geri Yöntemi (FBSA) kullanılarak incelenmiştir. Yöntem, düzensiz arazi kesitlerinden elektromanyetik saçılım için Moment Metodu (MoM) çözümlerini N düzeyinde ($O(N)$) bir bellek alanı ve hesaplama zamanı ile sağlayan, bir integral denklem tekniğidir. N yüzey bilinmeyenlerinin sayısını belirtmektedir. Sonuç olarak yöntem, çok büyük bilinmeyen sayıları için diğer bütün integral denklem tekniklerinden ve/veya onların etkin çözümlerinden çok daha fazla verimli olmaktadır. Bu bildiride, FBSA sonuçları MoM çözümleriyle karşılaştırılmış ve FBSA'nın MoM kadar doğru, üstelik büyük ölçüde daha hızlı olduğu gösterilmiştir. Çeşitli gerçek arazi kesitleri üzerinde sayısal sonuçlar sunulmuş ve ölçümlerle karşılaştırmalar verilmiştir. Ayrıca, FBSA çözümleri referans alınarak, arazi kesitleri üzerinde alan şiddetlerini tahmin için sıklıkla kullanılan çoklu saçınım düzeltme teknikleriyle birleşik bazı deneysel (ampirik) yayınım modellerinin doğrulukları araştırılmıştır. En son tavsiye edilen Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) modellerinin, daha eski modellerden çok daha fazla hata oluşturduğu gözlenmiştir.

1. GİRİŞ

Çok uzun arazi kesitleri üzerindeki elektromanyetik alanların doğru tahmini mobil radyo planlaması için bir gerekliliktir. Fakat, Moment Metodu (MoM) gibi doğru ve sağlam metodlar, $O(N^3)$ hesaplama maliyeti yüzünden elektriksel olarak çok uzun arazi kesitlerinde kullanılamamaktadır; burada N yüzey bilinmeyenlerinin sayısını ifade etmektedir. Bu yüzden, ampirik yayınım modelleri, çoklu kırınım (MD) düzeltme teknikleri ile beraber, arazi kesitlerinin üzerinde alan şiddetlerinin hesaplanması için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modellerin uygulanması çok hızlı olmasına rağmen doğruluk bakımından yetersizdirler. Bu bildiride, yayınım tahmin yöntemlerinin doğruluklarının tespit edilmesi için FBSA metodunun referans çözüm olarak kullanılması önerilmektedir.

İleri-Geri Yöntemi (FBM), elektromanyetik pürüzlü yüzeylerden saçınım problemlerinden oluşan doğrusal denlem sistemlerinin çözümünde kullanılan durağan bir tekrarlamalı yöntemdir. Holliday [1] tarafından geliştirilmiştir ve çok az tekrarlama sonrasında çok doğru sonuçlar verirken $O(N^2)$ hesaplama maliyetine neden olur. Spektral hızlandırma algoritması Chou ve Johnson tarafından [2]'de önerilmiştir. Hesaplama maliyetini ve hafıza gereksinimini $O(N)$ 'e indirmektedir, böylece FBSA çok geniş bir boyutlu yüzeylere uygulanabilmektedir. Orijinal algoritma değiştirilerek arazi kesitleri gibi çok dalgalanmalı yüzeylere uyarlanmıştır [3].

Bu çalışmada, elektriksel olarak çok uzun arazi kesitleri üzerinde FBSA uygulamaları sunulmaktadır. Önce, metodun doğruluğu ve nümerik verimliliği FBSA sonuçlarının, MoM ve literatürdeki diğer bir entegral denklemi yöntemiyle karşılaştırılmasıyla gösterilmiştir. Daha sonra en sık kullanılan ampirik modellerle çoklu kırınım düzeltmelerinin doğrulukları, FBSA referans alınarak araştırılmıştır.

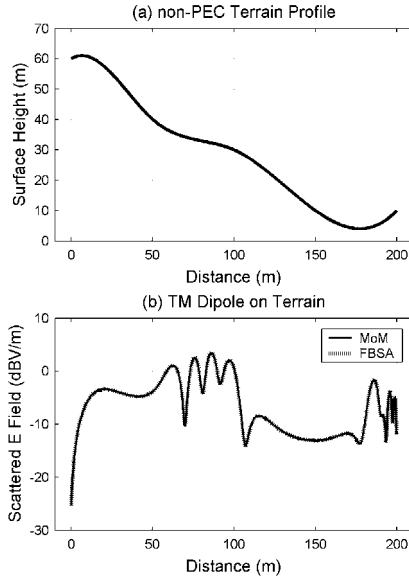
2. İLERİ-GERİ YÖNTEMİ ve SPEKTRAL HIZLANDIRMA

İleri-Geri yöntemi akımı her yüzey bilinmeyeni noktası üzerinde ikiye ayırmaya dayalıdır: gelen alana ve alıcı elemanın önünde bulunan akım elemanlarının yayınına bağlı olan ileri bileşen ve akım elemanın arkasında kalan akım elemanlarının etkilerine bağlı geri bileşen. Önce bütün yüzey üzerinde ileri bileşen bulunur ve sonra bu bileşen geri etkinin hesaplanmasında kullanılır. Bu işlem tekrarlamalı bir süreçtir ve sonuç yakınsayınca kadar devam eder. Bu metod hızlı yakınsama ve çok az sayıda tekrarlama doğru sonuç verme özelliğine

sahiptir. Buna rağmen hesaplama maliyeti hala $O(N^2)$ 'dir ki bu da FBM'in çok geniş ölçekli saçınım problemlerine uygulanmasını kısıtlamaktadır.

Hızlandırma algoritması bir alıcı eleman için bir komşuluk uzaklığı seçmekle başlar. Bu komşuluğun içinde kalan N_s tane ışıma elemanı kuvvetli grubu oluşturur ve bu elemanların alıcı elemana etkisi FBM matris-vektör çarpımlarıyla hesaplanır, bu hesabın maliyeti $O(N_s^2)$ 'dir. Geriye kalan ışıma elemanları zayıf grubu oluşturur ve zayıf elemanların alıcı elemana etkisinin hesabı iki boyutlu Green fonksiyonunun spektral gösterimine dayalı bir biçimde hızlandırılır. Bu işlem $O(N-N_s)$ hesaplama maliyeti oluşturur. $(N-N_s) \gg N_s$ olduğundan toplam işlem maliyeti hala $O(N)$ düzeyindedir. Spektral hızlandırma algoritması ile ilgili detaylar konferans sırasında sunulacaktır.

3. NÜMERİK SONUÇLAR



Şekil 1. MoM - FBSA

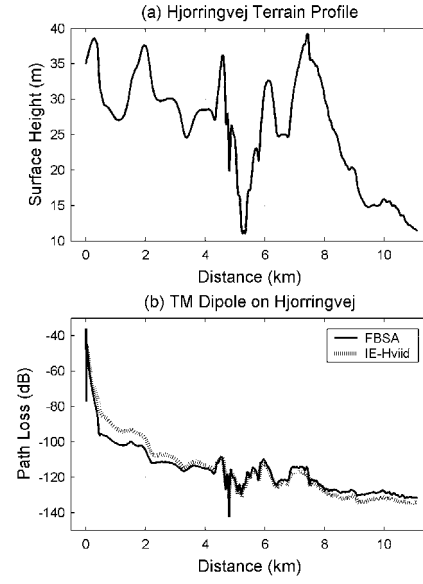
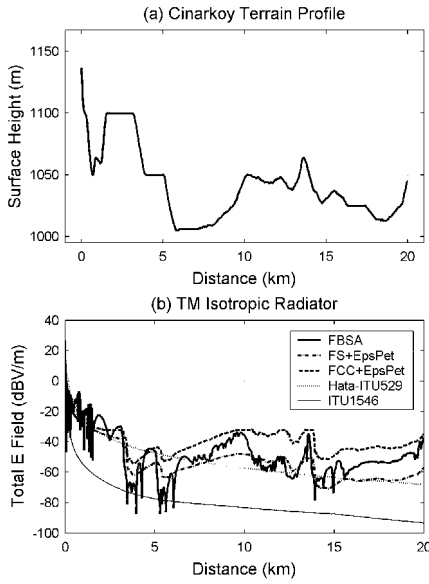
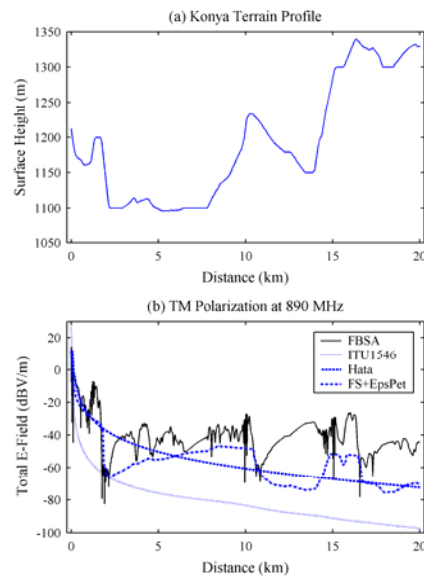


Figure 2. FBSA - Hviid *et al.*



Şekil 3. Yayınım Modelleri ve FBSA



Şekil 4. Yayınım Modelleri ve FBSA

Şekil 1.a'daki arazi profili yatay polarizasyonlu çok küçük bir dipolle aydınlatılmaktadır. Bu dipole 300 MHz'te 25 W güç iletmektedir ve kesitin en solunda yüzeyin 25 m üzerine yerleştirilmiştir. Yüzeyin empedansının $25+j20\Omega$ düşünülmektedir. $\lambda/10$ genişliğinde darbe bazlı fonksiyonlar kullanılarak elektrik alan integral denklemi ayrıştırılmış ve nokta eşleştirme uygulanarak Şekil 1.b'deki MoM ve FBSA sonuçları yüzeyin 1.8m üzerinde elde edilmiştir. İki çözüm arasındaki mutlak hata binde 1'den azdır.

Şekil 2.a yüzeyin 10.4 m üzerine arazinin en soluna yerleştirilmiş 10 W'lık bir dipol tarafından uyarılmış bir arazi kesitini göstermektedir (Hjorringvej, Danimarka). Çalışma frekansı 143.9 MHz'tir ve yüzey empedansı $20+j8\Omega$ 'dur. Şekil 2.b yüzeyin 2.4 m üzeri boyunca hesaplanmış FBSA sonuçları ile geri saçınımı ihmal eden Hviid [4] tarafından önerilmiş diğer bir integral denklem yönteminin karşılaştırılmasını göstermektedir.

FBSA'nın MoM (Şekil 1.b) ve Hviid integral denklem yöntemi (Şekil 2.b) ile uyumu göstermektedir ki, FBSA yayılım tahmin modellerinin doğruluklarının incelenmesinde referans olarak kullanılabilir. Aslında FBSA çok hızlı bir MoM çözümünden başka bir şey değildir. Şekil 3.a'da Çınarköy Şekil 4.a'da ise Konya, Türkiye'den bir arazi kesiti üzerinde yayılım modelleri incelenmektedir. Kaynak 890 MHz'de 50 W güç ileten bir yönsüz antendir ve yüzeyin en soluna 20 m yukarıya yerleştirilmiştir. Yüzeyin 1.8m üzeri boyunca toplam alan şiddeti FBSA ile hesaplanmıştır. Şekil 3.b ve 4.b'de FBSA sonuçları serbest uzay modeli (FS), FCC eğrileri, ITU eğrileri ve Epstein-Peterson kırınım düzeltme tekniği gibi sık kullanılan yayılım tahmin metodlarıyla karşılaştırılmıştır.

Bu incelemeler sonucunda en doğru yayılım modeli FS+Epstein-Peterson, en hatalı metod ise ITU-1546 olarak ortaya çıkmaktadır. Araştırmalarımız süresince pürüzlü yüzeylerden saçınımın hesabı için 600 binden fazla yüzey bilinmeyenine ulaşılmıştır. Bu kadar bilinmeyen sayısı bir boyutlu pürüzlü yüzeylerden saçınım literatüründe geçmiş çalışmalarda ulaşılan sayının iki katından fazladır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada en sık kullanılan ampirik yayılım modelleri ve çoklu kırınım düzeltme teknikleri FBSA kullanılarak doğrulukları açısından incelenmişlerdir. FBSA'nın MoM kadar doğru ve 600 bin yüzey bilinmeyeni için MoM'dan 10^9 kat daha az işlem gerektirdiği gösterilmiştir. Çalışmanın sonuçları şöyle özetlenebilir:

- Yayılım modelleri çoklu kırınım düzeltmeleri polarizasyon ve yüzeyin elektriksel özelliklerinden bağımsızdır.
- Yayılım modelleri için toplam alan zayıflaması ampirik modelin alan zayıflaması, yansıma kaybı ve kırınım kaybının toplamıdır. Eğer ampirik modelle hesaplanan alan şiddeti değerleri referanstan genlik olarak daha düşük bir seviyede ise, kırınım düzeltme metodu kullanmak hatanın büyümesine neden olur.
- En iyi yayılım modelinin seçimi kaynağın tipine, arazi profiline ve frekansa bağlıdır. Eğer toplam alan yönsüz bir antenin genel olarak aydınlık bölgesindeyse serbest uzay yayılım modeli ile bir çoklu kırınım metodunu kullanmak tercih edilebilir. Buna rağmen serbest uzay yayılım modeli frekansa bağlı değildir ve frekans arttıkça geçerliliğini yitirebilir. İkinci iyi metod FCC eğrileri şeklinde ortaya çıkmaktadır. En çok hataya ise ITU'nun en son önerdiği model olan ITU-1546 neden olmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar Profesör Jorgen B. Andersen'e Hjorringvej arazi kesitini ve integral denklem sonuçlarını sağlaması nedeniyle teşekkür ederler. Ayrıca ampirik yayılım modelleri ve kırınım metodlarının sonuçlarını elde eden yazılımı geliştiren ve kullanımımıza açan Bilkent Üniversitesi İletişim ve Spektrum Yönetimi Araştırma Merkezi İSYAM'a da teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] D. Holliday *et al.*, *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 44, pp. 722-729, May 1996.
- [2] H.-T. Chou and J. T. Johnson, *Radio Sci.*, vol. 33, pp. 1277-1287, Jun. 1998.
- [3] J. A. Lopez *et al.*, *J. of Electromagn. Waves and Appl.*, vol. 15, pp. 1049-1074, Aug. 2001.
- [4] J. T. Hviid *et al.*, *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 43, pp. 41-46, Jan. 1995.