

Ek_A1

University : Istanbul Technical University
Institute : Informatics Institute
Science Programme : Communication Systems
Programme : Satellite Communication and Remote Sensing
Supervisor : Prof. Dr. Ibrahim AKDUMAN
Degree Awarded and Date : PhD – September 2015

ABSTRACT

3D SCALAR IMAGING OF DIELECTRIC OBJECTS BURIED UNDER A ROUGH SURFACE

Evrin TETİK

Imaging of dielectric objects embedded in a layer, or beneath a rough surface is a popular subject of interest among remote sensing problems, and there are many studies that use microwaves for this purpose. In most of these studies, a rough surface separates two infinite half-spaces, and the object of interest lies in the inaccessible half-space. The area in which the object is presumed to be located is illuminated by transmitting antennas that are located in the accessible half-space, and the scattered field, which is the result of the interaction between the incident field and the irregularities in the medium, such as the unknown object and the layer it lies within, is measured by receiving antennas. The measured data is then used to obtain the unknown geometrical and material properties of the object. In the literature, the majority of the studies deal with layered media with planar interfaces, and 2D cases. Moreover, most of the studies on 3D cases dwell on only detection of dielectric objects, and very few deal with the imaging of dielectrics buried under a rough surface despite the importance of the problem from both theoretical and practical points of view. Nevertheless, none of these studies apply one of the well accepted nonlinear inversion techniques to a highly complicated case such as 3D case of imaging objects buried under a considerably rough surface, which is investigated here.

In this thesis, a nonlinear tomographic approach for a 3D scalar case of microwave imaging of dielectric objects buried under a rough surface is presented. First, the imaging problem is reduced to a system of two integral equations, which requires the Green's function of the background medium, including both the two half-spaces, and the rough surface. Therefore, the Green's function of the background is obtained numerically by using Buried Object Approach (BOA), which involves obtaining the Green's function of the two half-spaces with a planar interface, and then treating the roughness as a series of objects embedded in both half-spaces alternately. Then, the

system of integral equations is solved for the contrast function via Contrast Source Inversion (CSI) method, which is one of the most successful nonlinear inversion techniques when the Green's function of the background is known. The efficiency of the method is tested numerically, and successful results are achieved for different frequencies, permittivity and conductivity values of both the medium and the object, different heights of the roughness, different size and depth of the object, and for cases of multiple objects.

Keywords: 3D Scalar Electromagnetic Scattering, Inverse Problem, Rough Surface, Buried Object, Contrast Source Inversion

Science Code:

Ek_A2

Üniversitesi	: İstanbul Teknik Üniversitesi
Enstitüsü	: Bilişim
Anabilim Dalı	: İletişim Sistemleri
Programı	: Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama
Tez Danışmanı	: Prof. Dr. İbrahim AKDUMAN
Tez Türü ve Tarihi	: Doktora – Eylül 2015

ÖZET

ENGEBELİ YÜZEY ALTINA GÖMÜLÜ DİELEKTRİK CİSİMLERİN ÜÇ BOYUTLU SKALER DURUMDA GÖRÜNTÜLENMESİ

Evrin TETİK

Bir katmana ya da engebeli bir yüzeyin altına gömülü dielektrik cisimlerin görüntülenmesi, uzaktan algılama konuları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bunun sebebi, tahribatsız kontrol, mayın tespit, yer altı boru ve tünellerinin incelenmesi, tıbbi görüntüleme, jeofizik veya arkeolojik etütler gibi geniş bir uygulama alanına sahip olmasıdır. Bu durumların çoğunda, iki katman ya da yarı uzay, engebeli bir yüzey tarafından ayrılır. Erişilemeyen katmanda bulunan ve hakkında nerede olabileceğinden başka bir şey bilinmeyen bir cisim, erişilebilen katmanda bulunan verici antenler tarafından aydınlatılır. Gelen alanın ortam ve içinde yer alan engebeli yüzey ile bilinmeyen cisim arasındaki etkileşiminden doğan saçılan alan ise alıcı antenler tarafından ölçülür. Bu şekilde elde edilen saçılan alan, cismin bilinmeyen yeri ve şekli gibi geometrik özellikleri ve dielektrik geçirgenliği ile iletkenliği gibi malzeme özelliklerinin elde edilmesinde kullanılır. Literatürde bu konuyu iki ve üç boyutta inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları cisim ile engebeli yüzey arasındaki etkileşimleri incelemekle yetinirken, bazıları sadece engebeli yüzey, ya da sadece cisim üzerine odaklanarak iki aşamalı yaklaşımlara temel sağlamışlardır. Bu gibi yaklaşımlarda önce frekans ortalamalı Wigner-Ville fonksiyonu ile engebeli yüzey filtrelenir, ya da korelasyon yöntemi ile yüzey yaklaşık olarak tahmin edilir, daha sonra ise Newton-Kantorovitch gibi iteratif algoritmalar ile cisim tespit ve karakterize edilir. Bunun yanında, yeraltı radarı, dalgacık eşiği algoritması, Monte Carlo simülasyonları gibi yöntemler, engebeli yüzey ile cismi birlikte ele alır, ve cismin yerini tespit etmekte ya da cismin bulunduğu ve bulunmadığı durumları karşılaştırıp aradaki farkı farklı cisimler ile karşılaştırarak gömülü cismin ne olabileceğine ilişkin fikir vermekte kullanılır. Ancak bunlar günümüzün ihtiyaçlarını karşılamakta yetersizdir, ve cismin geometrik ve malzeme özelliklerini ortaya çıkarmak gibi karmaşık problemleri çözebilecek yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemler arasında, sığ ve mayın benzeri cisimleri

görüntülemekte kullanılan sentetik açıklıklı radar, Green fonksiyonuna gerek duymayan lineer örnekleme, bir hata fonksiyonunu iteratif olarak minimize etmeye odaklanan zamanda geri dönme, yarı analitik mod uydurma gibi yöntemler ya da zayıf bir saçıcının olması durumunda Born yaklaşıklığı ve buna eşlik eden ters Fourier dönüşümü veya tekil değer dekompozisyonu gibi yöntemler sayılabilir. Ancak bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmaların çoğunda iki ortam arasındaki yüzeyin ya düz olduğu, ya da düz denebilecek kadar hafif bir engebeye sahip olduğu durum göz önüne alınmıştır. Oysa pratikte, görüntülenmek istenen cismin gömülü olduğu ortamın yüzeyi ihmal edilemeyecek derecede engebelidir, ve bu durum probleme ciddi güçlükler getirmektedir. Hem teorik, hem de pratik açıdan son derece önemli olmasına rağmen literatürde engebeli bir yüzey altına gömülü cisimlerin üç boyutta ele alındığı, ve hem geometrik, hem de malzeme özelliklerinin belirlenmeye çalışıldığı çalışmalar yok denecek kadar azdır. Buna ek olarak, geniş bir dielektrik geçirgenliği aralığında, farklı geometrik özelliklere sahip saçıcıların görüntülenmesinde oldukça etkin olduğu bilinen doğrusal olmayan inversiyon yöntemlerinin engebeli yüzey altına gömülü dielektrik cisimlerin üç boyutlu durumda görüntülenmesi probleminde kullanıldığı bir çalışma, bildiğimiz kadarıyla bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, görüntülenmek istenen cismin arka planını teşkil eden uzaya ait Green fonksiyonunun bilinmesi halinde en etkili doğrusal olmayan inversiyon yöntemlerinden biri olarak kabul edilen Kontrast Kaynak İversiyon (Contrast Source Inversion, CSI) yöntemi, engebeli bir yüzey altına gömülü dielektrik cisimlerin üç boyutlu durumda görüntülenmesi problemine uygulanmıştır. Bu amaçla, veri ve cisim denklemleri olarak adlandırılan, ve cismin dielektrik geçirgenliği ile iletkenliğini, cisim üzerinde bilinen sonlu bir uzayda alınan bir integral aracılığıyla sırasıyla ölçüm bölgesi ve cisim üzerindeki elektromanyetik alanlarla ilişkilendirilen Fredholm tipi integral denklemler yazılmıştır. Bu denklemlerin çekirdeğinde, engebeli yüzey de dahil olmak üzere cisim dışında kalan bütün yapıyı içeren uzaya ilişkin Green fonksiyonu yer almaktadır. Bu uzaya ilişkin Green fonksiyonunun analitik olarak hesaplanması mümkün olmamakla beraber, Gömülü Cisim Yaklaşımı (Buried Object Approach, BOA) olarak bilinen yöntem ile sayısal olarak elde edilebilir. Bu yaklaşıma göre engebeli yüzeyin girinti ve çıkıntıları, düzlemsel bir ara yüzle birbirinden ayrılmış iki parçalı uzaya gömülü cisimler olarak kabul edilir, ve ihtiyaç duyulan noktalara yerleştirilen noktasal kaynaklara ilişkin alanlar, Momentler Yöntemi (Method of Moments, MoM) ile sentetik olarak elde edilir. Bu alan büyüklükleri, Green fonksiyonunun aranan noktalardaki değerleridir. Arka planın Green fonksiyonunun hesaplanmasında gerekli olan iki parçalı uzaya ait Green fonksiyonu ise çekirdeğinde spektral yansıma ve iletim katsayılarının bulunduğu sonsuz integraller şeklinde yazılır, ve bu integraller sayısal olarak hesaplanır.

Böylece, cismin görüntülenmesi problemi, veri ve cisim denklemlerinden, cisim ile içinde bulunduğu ortamın dielektrik geçirgenlikleri ve iletkenlikleri arasındaki farkı ifade eden kontrast fonksiyonunun elde edilmesi olarak ifade edilen bir ters saçılma problemidir. Bu problem, kötü kurulmuş (ill-posed) ve doğrusal olmayan (nonlinear) bir problemdir, ve çözümü için kullanılacak bazı yaklaşıklıklara ve doğrusallaştırmalara dayalı yöntemler literatürde mevcuttur. Bu yöntemlerden biri olan Kontrast Kaynak İversiyonu (CSI), doğrusal olmayan bir optimizasyon uygulamasıdır. Bunun için öncelikle sözü edilen integrallerin içinde çarpım halinde bulunan kontrast fonksiyonu ve alan ifadeleri, kontrast kaynağı adı verilen tek bir değişken olarak tanımlanır. Bu halde veri denklemi bu yeni değişkene göre doğrusal hale gelir, ancak denklemin kötü kurulmuş olması nedeniyle herhangi bir yöntemle kontrast kaynak için elde edilecek çözümün gerçekten farklı olması beklenir. Halbuki problem, denklem sisteminin asıl bilinmeyenleri olan kontrast fonksiyonu ve cisim üzerindeki alan açısından ele alındığında, cisim üzerindeki alanın kontrast fonksiyonuna bağlı olması nedeniyle problemin doğrusal olmayan bir problem olduğu

görülür. Cismin zayıf bir saçıcı olması halinde problem, cismin üzerindeki toplam alanın gelen alana eşit kabul edildiği Born yaklaşıklığı kullanılarak doğrusal hale getirilebilir. Ancak geniş bir kompleks dielektrik sabiti ve cisim boyutu bölgesinde çözüm verebilecek bir görüntüleme yöntemi için problemin doğrusal olmayan doğasının göz ardı edilmemesi gerekir. Kontrast Kaynak İncersiyonu yönteminde herhangi bir doğrusallaştırma yapılmaz. Veri ile cisim denklemlerinin hatalarının toplamı şeklinde ifade edilen bir hata fonksiyoneli tanımlanır, ve bu fonksiyonel minimize edilecek şekilde kontrast kaynağı ve kontrast büyüklükleri dönüşümlü ve iteratif olarak güncellenir. Bu yöntem, iterasyonun her adımında düz problem çözümüne ihtiyaç duymaması, ve kontrast büyüklüğünün her adımda analitik olarak belirleniyor olması sebebiyle benzer yöntemlerden ayrılır.

Yöntemin verimini test etmek amacıyla çeşitli durumlar için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda tek frekans kullanılmış, ve problemin üç boyutlu olmasından kaynaklanan hesaplama yükünü azaltmak amacıyla görüntüleme bölgesi, mümkün olduğunca küçük tutulmuştur. Bu şekilde farklı frekanslar, hem cisim, hem de içinde bulunduğu ortam için farklı dielektrik geçirgenlikleri ve iletkenlikler, farklı yapıdaki ve yükseklikteki engebeli yüzeyler, farklı boyutta ve derinliklerde bulunan cisimler, ve birden fazla cisimi içeren çeşitli durumlar incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, problemin yüksek karmaşıklığıdaki doğasına rağmen, elde edilen sonuçların son derece tatmin edici olduğu, içinde bulunduğu ortamdan cismin net bir şekilde ayırdedilebildiği, ve malzeme özelliklerinin gerçeğe yakın olarak elde edilebildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Skaler Elektromanyetik Saçılma, Ters Problem, Engebeli Yüzey, Gömülü Cisim, Kontrast Kaynak İncersiyonu

Bilim Dalı Sayısal Kodu: