

## DIRECT AND INVERSE ELECTROMAGNETIC WAVE SCATTERING RELATED TO ROUGH SURFACES

### SUMMARY

Electromagnetic wave scattering from one dimensional rough surface is analyzed both direct and inverse problems point of view. The surface could be a deterministic one or have a random variation which can be characterized by a stationary stochastic random distribution. In the case of direct problem, with the knowledge of the surface roughness and the medium parameters, the field distribution in the whole space is obtained in terms of surface integral representations by means of appropriate integral kernels. The problem is then reduced to an integral equation or a system of an integral equations using suitable boundary conditions. To be more precise, if the problem needs to apply a single boundary condition, then it is expressed by a single integral equation. In case of more than one boundary condition requirements such as rough surfaces forms a boundary between two penetrable media, it is expressed by a system of an integral equations. The solution of the integral equation (or the system of integral equations) for the direct problem is accomplished by a traditional numerical method called method of moments (MoM). This method base on expressing the change of the field -or its normal derivative- distribution on the surface via appropriate basis functions and thus reducing the corresponding integral equation to a matrix equation. In addition to the classical integral equation solution of the problem, a spectral domain integral equation solution based on one-dimensional Fourier transform and Taylor expansion is presented as an alternative and new approach. The accuracy, validity limits and the efficiency of this new approach are analyzed with appropriate comparisons. In the second main part of the thesis, inverse problem algorithms are presented in which the geometry of an inaccessible rough surface is tried to be determined by the scattered field data. Inverse problem algorithms are essentially based on the arrangement of the integral equations used in the solution of the direct problem such that both field -or its derivative- on the surface and the rough surface geometry is included to the equations as the unknowns. Then, this nonlinear integral system is solved iteratively. In this context, a linearization based on Newton method and containing Fréchet derivatives was applied in order to determine the surface function, which is the main unknown of the inverse problem. Finally, the ill-posed system was regularized by Tikhonov and solved in the sense of least squares approach. Within the scope of the thesis study, three scenarios for both direct and inverse problems have been considered. Two of these three scenarios cover the analysis of rough surfaces with perfect electric conductivity (PEC). PEC surfaces considered in this context can be illuminated by the TE or TM polarized incident wave. Since the illumination of the surface with each polarization requires consideration of different boundary conditions for the solution, TE and TM cases were analyzed separately. Finally, the scenario where the roughness is positioned to separate the two dielectric media is analyzed. The feasibility of the algorithms has been tested through numerous simulations and the obtained results are discussed in detail.

## ENGEBELİ YÜZEYLERE İLİŞKİN TERS VE DÜZ ELEKTROMANYETİK SAÇILMA PROBLEMLERİ

### ÖZET

Tek boyutlu pürüzlü bir yüzeyden saçılan elektromanyetik dalga, hem düz hem de ters bir problem olarak ele alınarak analiz edilmiştir. Bahsi geçen pürüzlü yüzey, deterministik ya da rastgele dağılıma sahip sabit-stokastik bir yapıda olabilir. Yüzeyin pürüzlülüğü ve ortam parametrelerinin bulunduğu düz saçılma probleminde tüm uzaydaki alan dağılımı, uygun integral çekirdekleri aracılığıyla yüzey integrali gösterilimleri cinsinden elde edilmiştir. Daha sonra problem, uygun sınır koşullarının kullanılmasıyla bir integral denkleme veya bir integral denklem sistemine indirgenir. Daha açık ifade etmek gerekirse, problem tek bir sınır koşulu ile ifade edilebiliyor ise tek bir integral denklemi ile; geçirgen ortamlar arasındaki pürüzlü yüzeylerde olduğu gibi birden fazla sınır koşulu söz konusu olduğunda ise, bir integral denklem sistemi ile ifade edilir. Düz saçılma problemi için integral denklemlerin veya integral denklem sisteminin çözümü, momentler yöntemi (MoM) adı verilen geleneksel bir sayısal yöntemle gerçekleştirilir. Bu yöntemin temeli, alanın -veya alanın normal türevinin- yüzey üzerindeki değişiminin uygun baz fonksiyonları cinsinden ifade edilmesine ve böylece ilgili integral denklemin bir matris denkleme indirgenmesine dayanmaktadır. Problemin klasik integral denklem çözümüne ek olarak, bir boyutlu Fourier dönüşümü ve Taylor açılımına dayanan bir spektral domen integral denklem çözümü de alternatif ve yeni bir yaklaşım olarak sunulmuş ve bu yeni yaklaşımın doğruluğu, geçerlilik sınırları ve etkinliği uygun karşılaştırmalarla analiz edilmiştir. Tezin 2. ana kısmında ise, yanına yaklaşılamayan bir pürüzlü yüzeyin geometrisinin saçılan alan verileri aracılığıyla belirlenmeye çalışıldığı, ters problem algoritmaları sunulmuştur. Ters problem algoritmaları temel olarak, düz problemin çözümünde kullanılan integral denklemlerinin hem yüzey üzerindeki alan veya türevlerini hem de yüzey geometrisini, bilinmeyen olarak içerecek şekilde düzenlenmesine dayanmaktadır. Daha sonra, doğrusal olmayan bu integral sistemi iteratif olarak çözülür. Bu kapsamda, ters problemin ana bilinmeyeni olan yüzey fonksiyonunun belirlenmesi için Newton yöntemine dayanan ve Fréchet türevleri içeren bir lineerleştirme uygulanmış ve nihayi kötü koşullu sistem en küçük kareler yaklaşımı ile Tikhonov anlamında regülerize edilerek çözülmüştür. Tez çalışması kapsamında, hem düz hem de ters problem için üç senaryo dikkate alınmıştır. Bu üç senaryodan ikisi mükemmel iletkenliğe sahip pürüzlü yüzeylerin analizini kapsar. Bu bağlamda, ele alınan mükemmel iletkenliğe sahip yüzeyler, TE veya TM polarize olmuş gelen dalga tarafından aydınlatılabilir. Her bir polarizasyon ile yüzeyin aydınlatılmasında, çözüm için farklı sınır koşullarının dikkate alınmasını gerektirdiğinden, TE ve TM durumları ayrı ayrı analiz edilmiştir. Son olarak, pürüzlülüğün iki dielektrik ortamı ayırarak şekilde konumlandırıldığı senaryo analiz edilmiştir. Oluşturulan algoritmaların fizibilitesi çok sayıda simülasyon aracılığıyla test edilmiş ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak tartışılmıştır.