

FMCW Radar Hedef Ortam Simülatörü için Fiziksel Optik Yöntemi ile Monte Carlo Temelli Yeryüzü Yansıma Analizi

Mehmet Fatih Dinç¹, Özlem Özgün¹, Şimşek Demir²

¹Hacettepe Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Ankara

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Ankara

m.fatihdinch@gmail.com, ozlem@ee.hacettepe.edu.tr, simsek@metu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, bir Radar Hedef Ortamı Simülatörü (RHOS) için dünya yüzeyinden olan yansımaları doğru ve gerçekçi bir şekilde hesaba katmak amacıyla geliştirilen bir nümerik modelden elde edilen analiz sonuçları sunulmaktadır. RHOS, FMCW (frekans modülasyonlu sürekli dalga) tekniği ile çalışan ve helikopterlerin hassas iniş ve kalkışları için yükseklikölçer olarak kullanılan sistemin masaüstü işlevsellik testlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Dünya yüzeyi, DTED (sayısal arazi yükseklik verisi) ve deniz yüzey modeli gibi gerçekçi verilerle modellenmiş ve dünya yüzeyinden olan saçılma etkilerini karakterize eden RKA (radar kesit alanı) değerleri yüksek frekans tekniklerinden biri olan PO (fiziksel optik) yöntemiyle hesaplanmıştır. Deniz yüzeyinin sürekli değişen yapısı nedeniyle, RKA değerlerinin istatistiksel analizi amacıyla Monte Carlo tekniği kullanılmıştır. Geliştirilen nümerik yöntem ile elde edilen RKA verileri, ticari yazılımlar olan CST ve FEKO ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Abstract: This study presents the analysis results obtained from a numerical model developed for a Radar Target Environment Simulator (RTES) to accurately and realistically account for reflections from the earth surface. The RHOS is designed to be used in desktop functionality tests of the system that works with FMCW (frequency-modulated continuous wave) technique and is used as an altimeter for precise landing and take-off of helicopters. The earth surface is modeled using realistic data such as DTED (digital terrain elevation data) and a sea surface model, and RCS (radar cross section) values characterizing the scattering effects from the earth's surface are calculated by using the PO (physical optics) method that is one of the high frequency techniques. Due to the constantly changing nature of the sea surface, Monte Carlo technique is used for the statistical analysis of RCS values. The RCS results obtained with the developed numerical method are compared with the results of two commercial software, i.e., CST and FEKO.

1. Giriş

FMCW temelli radarlar, akıllı füze sistemleri üzerinde patlama etkisinin artırılması için yükseklik ölçme sensörü olarak sıklıkla kullanılmaktadır [1]. FMCW radarlar, füze yaklaşma sensörü olarak kullanılmasının yanı sıra özellikle askeri tip helikopterler için hassas iniş-kalkış altimetre sistemi olarak da kullanılmaktadır [2-3]. Askeri tip helikopterler ve insansız hava araçları genel olarak kendileri için özel olarak hazırlanmış beton/asfalt zeminlere iniş-kalkış yapmalarına rağmen özellikle savaş ortamında engebeli arazilere iniş yapmak zorunda kalmaktadır. Savaş ortamında toz, sis, duman, yağmur vb. çok sayıda engel olduğu için görüş mesafesi oldukça azalmakta ve iniş esnasında problem oluşmaktadır. Platform üzerinde bulunan aktif radarlar ve GNSS temelli sensörler de Elektronik Harp sistemleri tarafından etkisiz hale getirilebileceği için hassas mesafe ölçümü yapabilen ve çevresel faktörlerden etkilenmediği için [2]'de tasarım ayrıntıları verilen FMCW tabanlı yükseklik sensörü geliştirilmiştir. Bu sensör 4.2 GHz merkez frekansında ± 0.5 m hassasiyet ile 1.5-50 m arası mesafede ölçüm yapabilmektedir.

Bu çalışmada ise [2]'de verilen FMCW temelli helikopter hassas iniş-kalkış sensörünün masaüstü işlevsellik testlerinin yapılmasını sağlayan test sisteminin temelleri ve geliştirilen Radar Hedef Ortam Simülatör yazılımının yeryüzü yaklaşma analizinde kullandığı RKA bilgilerinin gerçek yüzeyler ile hesaplamaları PO yaklaşım metodu ile verilmiştir.

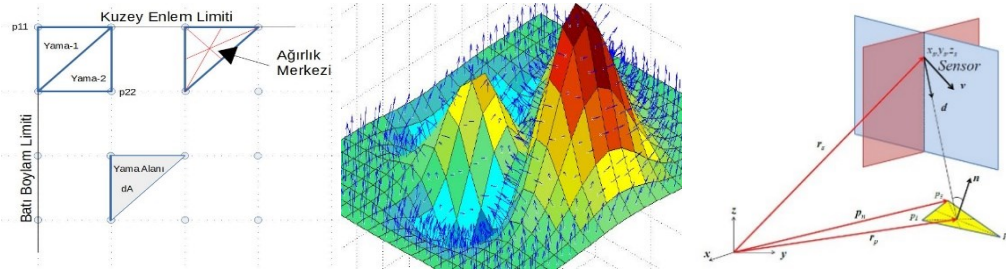
2. Radar Hedef Ortam Simülatörü

Giriş bölümünde anlatılan, askeri ve sivil helikopterlerin iniş-kalkışında hassas yükseklik ölçümü yapılmasını sağlayan FMCW radar temelli sensörün platforma entegrasyonu öncesinde masaüstü işlevsellik testlerinin yapılması ihtiyacı olmuştur. Bu kapsamda tasarlanan test düzeneği, helikopter yükseklik sensörünün tüm alt modlarının doğrulanması amacı ile geliştirilmiş olan donanım ve gömülü yazılımlarına ek olarak bilgisayar kontrol arayüz yazılımlarından oluşan basit bir 'Radar Hedef Ortam Simülatörü (RHOS)' olarak çalışmaktadır. Tasarlanan

bu FMCW Radar Simülasyon sistemi, test edilecek olan sensörün, yazılımsal mesaj arayüzüne uygun biçimde gerekli haberleşme testlerini yapar. Ayrıca PC arayüzünden gönderilen yükseklik bilgisine denk gelen vuru frekansını müreterek sensörün göndermiş olduğu sinyalin üzerine ekler ve yükseklik sensörüne gönderilir. Böylelikle yükseklik sensörü, gönderdiği sinyal ile gelen sinyali çarparak aradaki frekans kaymasını elde ederek yüksekliği simüle edebilmektedir.

FMCW temelli sensörün çalışması sırasında yüksekliğe bağlı olarak göreceği vuru frekans değerleri 1m-50m arasında [4]'de verilen FMCW denklemlerine göre hesaplanmıştır. Vuru frekansında meydana gelen bu değişim sadece yükseklik ve FMCW parametrelerine bağlı olarak değişirken, yaklaşma yüzeyinin düz olmadığı durumlarda gelen sinyal gücünde de değişimler meydana gelmektedir. Bu nedenle dağınık yeryüzü parçalarından olan yansımaların gerçekleşmesinde sabit sinyal gücü uygulamak gerçekçi bir yaklaşım olmamaktadır. Bu kapsamda Şekil 1'de DTED bilgisine göre yeryüzü üçgenlemesi verilmiştir [5]. Denklem 1'de ise sensörün konum ve anten hüzmeye genişliğine göre aydınlatılan yüzey yamalarından meydana gelen yansıma hesaplamaları verilmiştir [4]. Burada gönderme gücü (P_0), anten kazançları (G_0), mesafe (d), dalgaboyu (λ) ve anten faktörü (F) kontrollü parametreler olarak, açıya bağlı olan yeryüzü RKA'sı (σ) ise bilinmeyen parametre olarak ortaya çıkmaktadır.

$$dP_r = \frac{P_0 G_0^2 \lambda^2 \sigma(\alpha) F^4(\beta) dA_p}{(4\pi)^3 |d|^4} \quad (1)$$

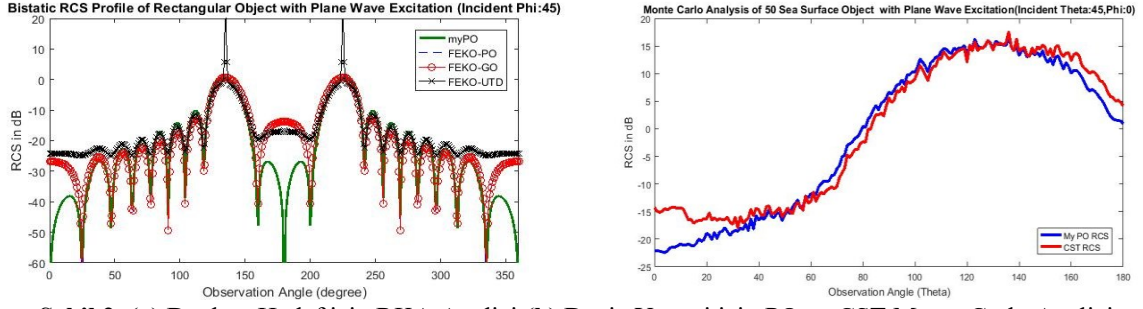


Şekil 1. DTED Veri Matrisi ile Yüzey Üçgenleme Yapısı

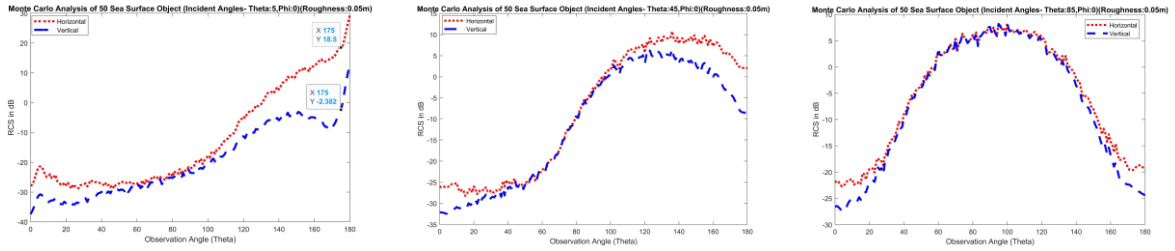
3. Yöntem ve Analiz

Bölüm 2'de tasarım detayları verilen RHOS temelli test sistemi dağınık yüzey yamalarından olan yansıma hesaplamalarını yaparken her bir yüzey yaması için vuru frekansını hesapladıktan sonra Denklem 1'de verilen formül ile de yansıyan sinyal gücünü hesaplamaktadır. Burada sensör ile ilgili parametreler halihazırda bilinirken, yeryüzü RKA değeri önceden ölçülmüş veriler üzerinden bir olasılık fonksiyonu ile atanmaktadır. Bu çalışmada ise her bir yüzey yaması için RKA değeri bir yüksek frekans tekniği olan Fiziksel Optik (PO) yaklaşımı ile dinamik olarak hesaplanmıştır. PO yaklaşımı, hedef boyutunun dalga boyundan çok büyük olduğu durumlarda yüzey yaması üzerinde sonsuz bir tanjant yüzeyi kabulü ile indüklenen yüzey akımlarını kullanarak saçılan alanları ve RKA değerlerini hesaplamaktadır. Şekil 2(a)'da 20cm x 20cm'lik bir düz yüzey için lineer polarizasyonda ve 12 GHz de bir aydınlatma sinyali kullanılarak 45 derecelik geliş açısı için çalışma kapsamında geliştirilen PO yazılımı ile FEKO'nun içinde yer alan yüksek frekans teknikleri ile elde edilen RKA sonuçları karşılaştırılmış ve tutarlılık olduğu gözlemlenmiştir.

Gerçek yaklaşma ortamlarındaki yansımaların hesaplanmasında en zorlayıcı olanı sürekli değişen yapısı nedeniyle deniz yüzeyleri olmaktadır. Bu nedenle deniz yüzeyinden olan saçılma problemi literatürde sıklıkla çalışılmıştır [6-7]. Deniz yüzeyi hem dinamik olduğu hem de yapısındaki karmaşıklıktan dolayı bu yüzeylerin oluşturulmasında kullanılan birçok ölçüme dayalı matematiksel model bulunmaktadır [8-9]. Bu çalışma ile RHOS yazılımına, bu yeryüzü modelleri kullanarak rastgele olarak üretilen deniz yüzeylerinden olan yansımaları geliş açısına göre PO yöntemi ile hesaplama yeteneği kazandırılmıştır. Deniz yüzeyi sürekli olarak değiştiği için Monte Carlo analizi yaparak çoklu sayıda yüzeyden olan yansımalar hesaplanmakta ve deniz yüzeyi ile alakalı genel bir RKA bilgisine ulaşılmaktadır [7]. Çalışmada rastgele oluşturulmuş 50 adet deniz yüzeyi için geliş açısı 45 derece olduğu durumda RKA değerleri Monte Carlo yaklaşımı ve PO yöntemi ile hesaplanmıştır. Şekil 2(b)'de ise çalışma kapsamında geliştirilen PO kodu kullanılarak elde edilen Monte Carlo RKA sonuçları ile CST'de aynı yüzeyler için hesaplanmış sonuçlar verilmiştir. Burada her iki RKA sonucunun da benzer bir davranış sergilediği sonucuna ulaşılmış ve böylelikle geliştirilen Monte Carlo yaklaşımı PO yöntemi ile RKA hesaplaması doğrulanmıştır. Şekil 3'de ise aynı yüzeyler için farklı geliş açılarında yatay ve dikey polarizasyona göre yansıma analizi verilmiştir. Burada yüksek geliş açılarında benzer bir sonuç elde edilirken, düşük geliş açılarında yatay polarizasyona sahip yansımaların çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. (a) Düzlem Hedef için RKA Analizi (b) Deniz Yüzeyi için PO ve CST Monte Carlo Analizi



Şekil 3. Geliş Açısına Göre Dikey ve Yatay Polarizasyon için RKA analiz sonuçları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada helikopterler için geliştirilmiş ve hassas iniş-kalkış sensörü olarak çalışan yükseklikölçerin platform entegrasyonu öncesinde masaüstünde test edilmesini sağlayan RHOS temelli test cihazının ayrıntıları verilmiştir. Ayrıca bu test sisteminin daha doğru test sinyalleri üretmek için yeryüzü yansımalarının gerçekleştirilmesi için dağınık yeryüzü yamalarından oluşan vuru frekansları ve yansıyan sinyal güçleri hesaplamasına olanak sağlayan bir yöntem ortaya konmuştur. Geliştirilen yöntem ile elde edilen sonuçlar öncelikle basit yüzeyler için FEKO ile hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve benzer bir davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Daha sonra helikopterin gerçek yaklaşım ortamında karşılaşacağı yüzeylerden biri olan ve dinamik yapısından dolayı hesaplanması zorlayıcı olan deniz yüzeyleri için çoklu sayıdaki yüzey ile Monte Carlo analizi yapılarak deniz yüzeyi için ortalama RKA hesaplaması yapılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen PO kodu ile hesaplanan RKA sonuçları ile CST sonuçları karşılaştırılmış ve benzer davranış gözlemlenmiştir. Ayrıca rastgele oluşturulmuş olan bu deniz yüzeylerinin farklı geliş açılarında yatay ve dikey polarizasyona göre davranışları elde edilmiştir. Bu kapsamda, farklı yansıtıcılık değerlerine sahip kompleks yüzeylerden olan yansımaları hesaplamak üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Perrin M., New Generation Naval Artillery Multi-Function Fuze, 56th Annual Fuze Conference, Baltimore, MD, A.B.D., 2012
- [2]. Sağlam A., Dinç M.F., Tonga M. ve Demir Ş., “FMCW Radar Tekniği Kullanılarak Yüksek Çözünürlüklü İHA İniş – Kalkış Altimetre Sistemi”, URSI-TÜRKİYE IX. Bilimsel Kongresi, 2018.
- [3]. Rangwala M., Lee J. ve Sarabandi K., “Design of FMCW Millimeter-Wave Radar for Helicopter Assisted Landing”, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, s.4183-4186, 2007.
- [4]. Skolnik M.I., Introduction to Radar Systems. McGraw Hill, Newyork, İkinci Baskı, 2000.
- [5]. Vural A., “Precise Height Estimation by Differential Amplitude Measurement for An Airbone CW Doppler Proximity”, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara, Türkiye, 2012
- [6]. Ozgun O. ve Kuzuoglu M., “Monte Carlo-based characteristic basis finite-element method (MC-CBFEM) for numerical analysis of scattering from objects on/above rough sea surfaces,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., bölüm.50, no.3, s.769–783, 2012.
- [7]. Ozgun O. ve Kuzuoglu M., “A Domain Decomposition Finite-Element Method for Modeling Electromagnetic Scattering from Rough Sea Surfaces Wit Emphasis on Near-Forward Scattering”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, bölüm.67, no.1, s.335-345, 2019.
- [8]. Pierson W. J. ve Moskowitz L. A., “A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii,” J. Geophys. Res., bölüm.69, no.24, s.5181–5190, 1964.
- [9]. Elfouhaily T., Chapron B., Katsaros K. ve D. Vandemark, “A unified directional spectrum for long and short wind-driven waves,” J. Geophys.Res, bölüm.102, no.C7, s.15781–15796, 1997.