Darbeli Radar ile Yer Haritalamanın Bilgisayar Benzetimi

Simulation of Real Beam Ground Mapping Mode of a Pulsed Radar

Serkan Onart ^{a,b}, Orhan Arıkan ^a

{onart, oarikan}@ee.bilkent.edu.tr

^aElektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi 06800, Ankara

^bSimülasyon ve Eğitim Sistemleri Direktörlüğü
Havelsan A. Ş. 06520, Ankara

Özetçe

Darbeli hava radarı ile yer haritalamanın Matlab[®] ortamında gerçekçi bir benzetimi yapılmış ve temel radar parametrelerinin hüme haritalama moduna olan etkileri incelenmiştir. Arazi modeli olarak yalnızca yeryüzü yükseklik bilgileri içeren sıfır seviyeli bir DiTED verisi kullanılmıştır. Radar, bu arazi modeli üzerinde belli bir yükseklikteki bir noktaya yerleştirilmiş ve verilen anten eğimine göre çevresindeki arazinin yankısı hesaplanmıştır. Benzetim yazılımı gölgeleme, geliş açısına göre farklı yüzeylerden saçınım, uzaklıkla sinyal zayıflaması gibi tipik radar etkilerini ve anten özellikleri (örüntü, kazanç, hüme genişliği v.b.) ile verici özelliklerinin (frekans, verici gücü, darbe genişliği, darbe frekansı v.b.) etkilerini radar yankıları üzerinde gerçekçi bir şekilde sergileyebilmektedir. Benzetim tam veya sektör tarama yapabilmektedir.

Abstract

A Matlab[®] based realistic simulation software is developed for Real Beam Ground Mapping (RBGM) mode of a pulsed airborne radar. The developed software successfully simulates the effects of basic radar parameters for the real beam mapping mode. A zero level Digital Terrain Elevation Data (DiTED) is used for terrain model. Radar return is calculated for a stationary antenna at a given height from the ground and tilt angle. Simulations can represent the effects of terrain occulting, shadowing, incidence angle depended scattering, range attenuation, antenna parameters (pattern, gain, beam width e.g.) and transmitter parameters (frequency, output power, pulse width, PRF e.g.) on radar returns for both sector and circular scans.

1. Giriş

Arama ve tespit amaçlı havadan radar sistemleri için arazi-den yansıyan radar yankısı genellikle parazit yankı olarak değerlendirilir. Ancak amaç yerdeki sivil/askeri hedefleri veya binaları tespit etmek değil de arazinin bir haritasını oluşturmak ise parazit yankı *dağıtık hedeflerden kaynaklanan radar saçınımı* [1] olarak adlandırılmakta ve haritalama amacıyla kullanılmaktadır.

1.1. Gerçek Hüme Haritalaması

Radar yeryüzü haritalama yöntemlerden birisi gerçek hüme haritalamasıdır. Bu uygulamada radar antenine yere doğru bir α eğimi verilerek hümenin yeryüzünde belli bir bölgeyi

Şekil 1: Geliş açısı dikleştikçe ölçülen mesafenin kısalması.

aydınlatması sağlanır. Antenden gönderilen dalgaların araziye çarpıp geri saçılması farklı yüzeylerden farklı şekillerde gerçekleşir. Göller ve yollar gibi düz yüzeylerden az, tarım arazileri ve çalılıklar gibi kaba yüzeylerden ise daha çok saçınım olur. Bu durumda anten hümesinin taradığı alandan alınan yankılardaki yeğinlik farklılıkları, bir tür *yeryüzü haritası* oluşturur.

Gerçek hüme haritalaması ile elde edilen radar haritaları bir bölgenin havadan çekilmiş fotoğrafından farklıdır. Bu haritalarda, dalgaboyunun büyüklüğünden kaynaklanan farklılıkların yanı sıra engebelerin ardında kalan ve radara görünmeyen kısımların oluşturduğu gölgeler ile geliş açısının dikliğinden kaynaklanan bozulmalar mevcuttur. Radarda mesafeler gelen yankılar arasında geçen zamana göre ölçüldüğünden, geliş açısı dikleştikçe aynı doğrultuda bulunan iki nokta arasındaki mesafe gerçekte olduğundan daha kısa ölçülecektir. Bu durum Şekil 1'de gösterilmiştir.

2. Yer Saçınımının Modellenmesi

Dağıtık bir hedef için saçınan ve anten çıkışına ulaşan radar sinyali,

$$r(t) = \iint_A \frac{(P_t \sigma^\circ)^{1/2} G(\theta, \phi) \lambda}{(4\pi)^{3/2} R^2} e^{j\phi} dA \quad (1)$$

Şekil 2: Aydınlatılmış alan geometrisi.

şeklinde. Burada P_t tepe verici gücü, G anten kazancı, λ dalgaboyu, A aydınlatılmış alan, R erim mesafesi, ϕ faz terimi ve σ_o arazi için geri saçılım oranı'dır. Şekil 2 genel yapıyı göstermektedir. Geri saçılım oranı ya da parametresi, arazi yüzeyindeki saçıcılar için aydınlatılmış birim alan başına radar yansıtırlığını verir ve aşağıdaki gibi formülize edilir;

$$\sigma_o = \frac{d\sigma}{dA} \quad (2)$$

Burada σ aydınlatılan alanın radar kesitidir.

2.1. Aydınlatılmış Alan

Antenden yayınlanan τ uzunluğundaki bir radyo-frekans (RF) darbesi merkez-çevre doğrultusunda yere doğru belli bir geliş açısıyla ilerlerken yerdeki bir bölgeyi de talar. Bu bölgeye *verev alanı* denilmektedir. RF darbesi yere ulaştığında verev alanının bir kısmını ya da tamamını aydınlatır. Bu kısma da *aydınlatılmış alan* denilmektedir.

İki farklı olasılık olarak darbe genişliği kısıtlayıcı ve hüzmeye genişliği kısıtlayıcı durumlar tanımlanabilir. Kısıtlı darbe genişliği, erim çözünürlük hücresinin veya diğer bir ifadeyle belli bir andaki aydınlatılmış alanın tüm hüzmeye kapsama alanından daha küçük olması durumu olarak tanımlanır. Hüzmeye genişliği kısıtlayıcı durumda ise aydınlatılmış alan her zaman tüm hüzmeye kapsama alanına eşittir. Aşağıdaki eşitsizliğin sağlanması durumunda kısıtlı darbe genişliği, sağlanamaması durumunda ise kısıtlı hüzmeye genişliği durumun geçerli olduğu anlaşılır

$$\frac{c\tau/2}{\cos \theta} < \frac{2R \tan(\beta_v/2)}{\sin \theta}. \quad (3)$$

Şekil 3'de darbe genişliği kısıtlayıcı durum için antenin pozisyonuna göre darbe ilerlemesi ve aydınlatılmış alan gösterilmiştir. Darbe ilerledikçe aydınlatılmış alan minimum erim mesafesinden başlayarak tüm verev alanını süpürür ve maksimum erim mesafesinde gözden kaybolur.

Gerçek hüzmeye haritalama radarı genellikle yatayda dar, dikeyde geniş bir hüzmeye oluşturur [3]. Yatay hüzmeye genişliği,

Şekil 3: Gerçek hüzmeye haritalama radarında darbe ilerlemesi.

β_h , tipik olarak 1° veya daha küçüktür. Azimut çözünürlüğü,

$$r_a = \beta_h R \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada R darbenin bulunduğu erim mesafesidir. Erim çözünürlüğü ise erim mesafesinden bağımsız olarak,

$$r_\rho = \frac{c\tau}{2 \sin \theta} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır. Bu durumda aydınlatılmış alan,

$$A = r_a r_\rho = \frac{\beta_h R c \tau}{2 \sin \theta} \quad (6)$$

ifadesiyle bulunabilir.

2.2. Yankı Sinyali

Aydınlatılmış alanın yeterince küçük K adet parçaya ayrılabilirdiği ve dolayısıyla değişkenlerin integral dışına alınabilirdiği varsayılırsa 1. denklem aşağıdakine dönüşür;

$$r(t) \approx \sum_k^K \frac{(P_t \sigma_k^o)^{1/2} G_k \lambda A_k}{(4\pi)^{3/2} R_k^2} \quad (7)$$

Bu eşitlik bize, A_k alanına ve tek bir geri saçılım oranına sahip K adet yüzeyden yansıyan toplam enerjinin anten çıkışında üreteceği voltajı verir.

Yankı sinyalinin zamana bağımlılığını anlamak için darbenin verev alanı içerisinde ilerleyişine bakmak gerekir. Zaman ilerledikçe aydınlatılmış alan en baştan sona kadar kayarak tüm verev alanını süpürecek dolayısıyla erim mesafesi ve anten kazancı da açı değişimi nedeniyle değişecektir. Geri saçılım oranının da aydınlatılmış alanla birlikte değişeceği açıktır.

2.3. Harita Çözünürlüğü

Radar haritalarının detay hassasiyeti, radarın erim ve azimut-taki çözünürlüklerine bağlıdır. Eğer darbe sıkıştırma teknikleri kullanılmıyorsa erim çözünürlüğü gönderilen darbenin genişliği ile sınırlıdır. Dar darbelerin kullanılması her bir darbe ile gönderilen toplam gücün azalmasına dolayısıyla ulaşılabilen maksimum mesafenin kılınmasına yol açmaktadır. Geniş darbelerin sıkıştırma teknikleri kullanılarak gönderilmesi ile daha uzun mesafelerle metre hassasiyetinde erim çözünürlüklerine

Şekil 4: Üçgensel yüzey elemanlarından oluşmuş göz yapısı.

ulaşmak mümkündür. Azimut çözünürlüğünü ise kullanılan antenin yatay hüzmeye genişliği sınırlar. Darbe ilerledikçe hüzmeye genişliği açılabilir. Aynı kalacak ancak kapsayacağı alan artacağından çözünürlük mesafeyle düşecektir.

3. Benzetim Yöntemi

Benzetim için radarın belli bir yükseklikte durduğu ve hareket etmediği varsayılmıştır. Mevcut algoritma ve yazılımlar hareketli bir radarın benzetimi için de uyarlanabilir.

3.1. Arazi Modeli

Arazi, üçgensel yüzey elemanlarından oluşmuş bir örgü yapısı ile modellenmiştir. Şekil 4 basit bir örgü yapısını göstermektedir. Bu model ile arazi, her biri farklı eğime ve geri saçılım oranına sahip üçgensel yüzey elemanlarından oluşmuştur. Her bir yüzey elemanı için farklı yüzey tipi belirlemek mümkündür. Böylece arazinin farklı kısımları için farklı yüzey tipleri tanımlanabilir.

Benzetimde kullanılan arazi verisi, 120km^2 'lik bir DiTED 0 verisinden 10km iç, 60km dış yarıçaplı bir diskin kesilmesi ile elde edilmiştir. Bu işlem sırasında kartezyen örneklemeden kutupsal örneklemeye aradeğerleme yapılarak geçilmiştir. Arazi açılabilir olarak olarak 2° 'lik dilimlere bölünmüştür. Işınım yönünde ise 420m 'de bir örnek alınmıştır. Arazi tipi olarak da tüm yüzey elemanlarına Tablo 1'deki Toprak/Kum tipi verilmiştir.

3.2. Anten Modeli

Anten örüntüsü, azimutta 3dB etkin hüzmeye genişliği 2° olan bir Gauss eğrisi şeklinde modellenmiştir. Böylece ana lob dışında kalan yan ve arka loblar hesaplamalara dahil edilmemiştir.

3.3. Yankı Hesaplanması

Belli bir ϕ azimut açısı için hesaplanacak yankı, N elemandan oluşan bir yankı vektörü şeklindedir. Her yönde hesaplanan yankı vektörleri, M kolondan oluşan bir yankı matrisin her bir

Tablo 1: Farklı arazi tipleri için model parametreleri [2]

Model Sabiti	Frekans (GHz)	Toprak /Kum	Çimenlik alan	Buğday tarlası	Ağaçlık alan
A	3	0.0045	0.0071	0.0071	0.00054
A	5	0.0096	0.015	0.015	0.0012
A	10	0.25	0.023	0.006	0.002
A	15	0.05	0.079	0.079	0.019
B	3	0.83	1.5	1.5	0.64
B	5	0.83	1.5	1.5	0.64
B	10	0.83	1.5	1.5	0.64
B	15	0.83	1.5	1.5	0.64
C	3	0.0013	0.012	0.012	0.002
C	5	0.0013	0.012	0.012	0.002
C	10	0.0013	0.012	0.012	0.002
C	15	0.0013	0.012	0.012	0.002
D	3	2.3	0.0	0.0	0.0
D	5	2.3	0.0	0.0	0.0
D	10	2.3	0.0	0.0	0.0
D	15	2.3	0.0	0.0	0.0

kolonunu oluşturmaktadır. Bu matris, gri ölçekli bir yeginlik görüntüsü olarak ekranda gösterilir.

Tüm yönler için verev alanı, N adet erim aralığına bölünmüştür. Her bir aralıktan gelen toplam katkı ise yankı vektörünün karşılık gelen elemanını oluşturur. Bir aralıktaki toplam katkı hesaplanırken o aralığa düşen yüzey elemanlarından saçılan RF enerjisinin anten çıkışında ürettiği voltaj sinyali toplanır.

Her elemanın katkısı 7. denkleme göre hesaplanmıştır. Bunun için önce radar anteni ile katkısı hesaplanmak istenen üçgensel yüzey elemanının ağırlık merkezi arasındaki mesafe ve birim mesafe vektörü hesaplanmış, yüzey normal vektörü ile mesafe vektörü arasındaki açı bulunarak da ışın geliş açısı bulunmuştur. Eşitlikteki A_k yerine de k . yüzey elemanının alanı hesaplanarak konulmuştur.

Darbenin t_i zamanında i . aralığa ulaştığı varsayılırsa K tane yüzey elemanına sahip i . aralık için toplam katkının hesaplanması aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir. Benzetimde her bir yüzey elemanına $[0, 2\pi)$ aralığında değişen düzgün dağılımlı rastgele bir faz terimi de eklenmiştir.

$$r(t_i) = \sum_{k=1}^{K_i} \frac{(P_t \sigma_k^\circ)^{1/2} G_k \lambda A_k}{(4\pi)^{3/2} R_k^2} e^{j\phi_k}, i = 1, 2, \dots, N. \quad (8)$$

3.4. Yüzeyden Geri Saçınım Modeli

Geri saçınım oranı yüzey tipine ve ışın geliş açısına göre değişmektedir. Bu parametre genellikle ölçümler yoluyla elde edilebilmektedir. Dolayısıyla benzetim için bir modele ihtiyaç vardır. Geri saçınım oranı için kullanılan model Eşitlik 9'de verilmiştir.

$$\sigma_o = A(\theta + C)^B \exp \left[-D / \left(1 + \frac{0.1\sigma_h}{\lambda} \right) \right] \quad (9)$$

burada σ_h santimetre cinsinden yüzey yüksekliğinin standart sapması, A, B, C ve D ise ampirik olarak elde edilmiş sabitlerdir. Bu model ölçülmüş veriye ampirik olarak eğri oturtma teknikleri kullanılarak oluşturulmuştur [2]. Tablo 1'de

Tablo 2: Anten ve verici sistemi parametreleri

Anten sistemi parametreleri	
α	-11.2°
θ	78.8°
β_h	2.0°
β_v	15.8°
G_o	$10dB$
Verici sistemi parametreleri	
λ	$3cm$
P_t	$8KW$
τ	$5\mu s$

3, 5, 10 ve 15GHz’de çeşitli yüzey tipleri için belirlenen A, B, C ve D değerleri verilmiştir.

4. Sonuçlar

Kullanılan arazi modeli Şekil 5’de verilmiştir. Arazide, yüksekliği deniz seviyesinden 915m ile 2485m arasında değişen ve standart sapması 115.7m olan yükseltiler mevcuttur. Minimum ve maksimum erim mesafeleri sırasıyla 10km ve 60km’dir. Arada kalan 50km’lik mesafede her 2° ’lik açıda alınan radar yankıları 256 noktada örneklenerek yankı matrisi oluşturulmuştur. Bu modelde radar anteni merkezde ve deniz seviyesinden 3500m yükseklikte bulunmaktadır. Kullanılan anten ve vericinin parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Şekil 6’da radar antenin bulunduğu noktaya göre arazi üzerinde gölgelenen kısımlar siyah noktalarla gösterilmiştir. Bu bölgelerden herhangi bir yankının gelmediği varsayılmıştır.

Benzetme, Duyarlılık Zaman Kontrolü’nün (STC) etkisi de dahil edilmiş ve uzaktan gelen yankılar için anten kazancı mesafenin 4. kuvveti ile artırılmıştır.

Benzetim sonucunda Şekil 7’deki radar haritası oluşturulmuştur. Her yönden toplanan radar yankıları polar koordinatlarda yeğnlik modülasyonuna çevrilmiş ve PPI ekranı tarzında gösterilmiştir. Arazideki detayları rahatlıkla yansıtabildiği görülen harita 256 erim aralığı ile 2° ’lik azimut hassasiyetine sahiptir.

Sonuç olarak, önerilen yazılım görsel amaçlarla ve özellikle radar operatörlerinin eğitimlerinde kullanılan uçuş simülatörlerinde kullanılabilecek niteliklere sahiptir.

5. Kaynakça

- [1] F.T. Ulaby, M.C. Dobson, “Handbook of Radar Scattering Statistics for Terrain”, Artech House, 1989.
- [2] J.L. Eaves, E.K. Reedy, “Principles of Modern Radar”, Van Nostrand Reinhold Company, 1987.
- [3] M.L. Skolnik, “Introduction to Radar Systems”, McGraw-Hill Book Company, 1980.

Şekil 5: Kullanılan arazi modeli.

Şekil 6: Arazi modeli ve gölgeleme.

Şekil 7: Simülasyon sonucu.