

B-Tarama Yere Nüfuz Eden Radar Görüntüleri için bir Odaklama Algoritması

Caner Özdemir, Şevket Demirci, Enes Yiğit
Mersin Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Çiftlikköy, Mersin

cozdemir@mersin.edu.tr, sdemirci@mersin.edu.tr, enesyigit@mersin.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, B-tarama Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) görüntülerindeki odaklama probleminin çözümü için, basit, fakat etkili bir metot önerilmiştir. Önerilen metodun formülasyonu ve ayrıntıları verilmiştir. Farklı metal hedeflerin nümerik YNR görüntüleri, Fiziksel Optik (FO) benzetim kodu yardımı ile elde edilmiş ve bu görüntülere odaklama algoritması uygulanmıştır. Deneysel bir düzenek kurulmuş ve önerilen metot, gerçek YNR verilerine de uygulanmıştır. Çeşitli nesnelerin, hem benzetim hem de ölçüm verileri için, odaklanmış YNR görüntüleri başarı ile elde edilmiştir.

1. Giriş

Yere Nüfuz Eden Radar (YNR), temel olarak yüzey altı nesnelere algılamada ve görüntüleme için kullanılan önemli bir uzaktan algılama teknolojisidir [1-4]. Tipik bir YNR sistemi, radar yer üzerinde hareket ederek ve aşağı doğru bakarak, yerin ve yeraltı nesnelere elektromagnetik (EM) yansıtıcılığı toplar [5-7]. Oluşturulan YNR görüntüsü, gömülü nesnenin uzamsal pozisyonu ve EM yansıtıcılığı bilgisini içerir. Monostatik düzenek için, radar bir yapay açıklık boyunca hareket ederken tek bir noktasal saçıcı, uzay-zaman YNR görüntüsünde bir hiperbol olarak görünür. Eğer amaç sadece hedefi algılamak ise, bu tip görüntü oluşumu yeterli olacaktır. Ancak, birçok YNR uygulamalarında, gömülü nesnenin boyut, derinlik ve EM yansıtıcılık bilgileri de kritiktir. Bu durumda, uzay-zaman YNR görüntüsündeki hiperbolik karakteristiğin, nesnenin yansıtıcılığı ile birlikte gerçek konumunu veren odaklanmış bir görüntüsü istenmektedir. Bu amaca hizmet etmek üzere birçok görüntü odaklama algoritmaları çalışılmıştır [8-11]. Claerhout [8], skalar dalga-denkleminin sonlu-farklar çözümünü kullanarak bir sonlu-farklar göçetirme tekniği geliştirmiştir. Gazdag [9], sismik /radar görüntülerini iteratif olarak odaklamak üzere dalga sayısı göçetirmeye dayalı bir faz-kayması göçetirme tekniği uygulamıştır. Stolt [10], dalga denkleminin Fourier dönüşümlerini kullanarak daha farklı bir göçetirme tekniği geliştirmiştir. Leuschen [11] ise, B-tarama YNR görüntülerindeki odaklama probleminin çözümünde, sonlu-farklar zaman-düzlemi (FDTD) ters-zaman göç ettirme algoritmalarına dayanan geri-yayılım teknikleri geliştirmiştir. Bütün bu teknikler, daha yüksek çözünürlüklü YNR görüntüleri elde etmede iyi bir başarı gösterse de, yineleyici özelliklerinden kaynaklanan ağır hesaplamasal yük önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, genellikle birçok hiperbolik eğriler içeren B-tarama uzay-zaman YNR görüntülerindeki odaklama probleminin çözümünde, hesaplamasal olarak basit ve hızlı bir teknik önerilmiştir. 2. Bölüm'de önerilen metodun ayrıntıları verilmiştir. Sonraki bölümde, çeşitli gömülü nesnelere için nümerik olarak üretilen YNR verilerine, odaklama algoritması uygulanmıştır. Daha sonra, kurulan deneysel bir düzenek ile toplanan ölçüm verilerinden gerçek YNR görüntüleri oluşturulmuş ve bu ölçüm verilerine önerilen metot tatbik edilmiştir. Elde edilen odaklanmış görüntüler sunulmuştur. Son bölümde, yapılan çalışma özetlenmiş ve önerilen metodun etkinliği ve kısıtlılığı tartışılmıştır.

2. Odaklama Metodu

Tipik bir YNR sistemi, genellikle hava-yer arabirimi ve yeraltındaki homojensizlikten kaynaklanan istenmeyen yankı etkileri ile birlikte, yüzey altı nesnelere EM yansıtıcılıklarını toplar. Homojen ortamlar için, alınan yansıma sinyalinin fazı, EM dalganın gidiş geliş mesafesi ile direkt orantılıdır. Monostatik düzenekte, bir noktasal saçıcının geri-saçılma sinyali, radar bir doğru boyunca hareket ederken, farklı gidiş-geliş mesafelerini kat eder. Bu doğru boyunca yapay açıklıktaki her bir ayırık nokta için geri-saçılma sinyali, belirli bir frekans bandı aralığında toplandıktan sonra, bu frekans çeşitliliği verinin Ters Fourier Dönüşümü (IFT) alınarak, tek boyutlu (1-B) menzile profiline çıkarılabilir. Sonra yapay açıklık boyunca elde edilen bütün menzile profilleri yan yana konularak, iki-boyutlu (2-B) uzay-zaman B-tarama YNR görüntüsü oluşturulabilir. Noktasal bir saçıcı, bu B-tarama YNR görüntüsünde hiperbol olarak kendisini gösterir. Bu hiperbolun biçimi, gömülü nesnenin derinliğine, radar antenin bant genişliğine ve ortamın dielektrik sabitine bağlıdır. Nesnenin gerçek konumu, aslında bu hiperbolun tepe noktasıdır. Bu yüzden, bu çalışmada amaçlanan, 2-B B-tarama görüntülerindeki hiperbolik şekilleri, odaklanmış görüntülere aşağıdaki yöntemle dönüştürmektir:

- i) Toprak yüzeyinde düz bir yol boyunca, yüzey altı ortamından saçılan sinyaller toplandıktan sonra, klasik 2-B uzay-derinlik B-tarama görüntüsü oluşturulur. Radar, 1-B X yapay açıklık uzay vektörü

boyunca hareket ederken, (x_0, z_0) noktasındaki bir noktasal saçıcı, YNR görüntüsünde, derinlik denklemi aşağıdaki gibi verilen bir hiperbol oluşturur :

$$Z = \sqrt{z_0^2 + (X - x_0)^2} \quad (1)$$

B-tarama YNR görüntüsünün, yüzey altındaki farklı noktasal saçıcılara karşılık gelen, belirli sayıdaki hiperbolların toplamı ile elde edildiğini göz önüne alarak, bu noktaları aşağıdaki adımlar ile ayırt etmek mümkündür.

- ii) Orijinal YNR görüntüsündeki her bir (x_i, z_i) piksel noktası için, X yapay açıklık vektörü ile $Z = \sqrt{z_i^2 + (X - x_i)^2}$ formülünü kullanarak hiperbolik eğri belirlenir.
- iii) Bu hiperbolik eğri altında kalan görüntü verileri alınır. Bu noktada; boyutu, X deki toplam örnekleme sayısı N ile aynı olan 1-B E_G saçılma elektrik alan verisi oluşturulur.
- iv) Daha sonra, bu 1-B kompleks verideki toplam enerjinin etkin (rms) değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\{rms @ (x_0, z_0)\} = \sqrt{|E_G|^2 \cdot |E_G^*|^2 / N} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N |E_G|^2 \quad (2)$$

- v) Sonra, hesaplanan rms değeri yeni 2-B YNR görüntüsünde (x_i, z_i) noktasına kaydedilir.

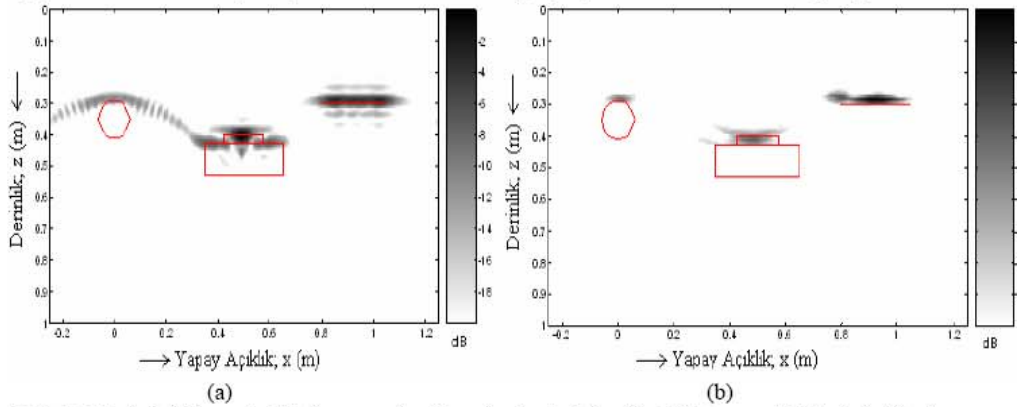
Böylece, orijinal görüntüdeki hiperbolik karakteristik, (x_i, z_i) noktasındaki tek bir noktasal görüntü pikseline aktarılır. Orijinal YNR görüntüsündeki bütün pikseller kapsanacak şekilde işlem tekrarlanır.

3. Benzetim ve Ölçüm Sonuçları

Önerilen metot, farklı elektriksel özellik taşıyan gömülü nesnelere için hem EM benzetim hem de gerçek EM ölçümleriyle test edilmiştir.

a) Benzetim Sonuçları :

Gömülü nesnelere saçılmanın EM benzetimi için, "Shooting and Bouncing Ray (SBR)" tekniğini içeren bir Fiziksel Optik (FO) tabanlı kod kullanılmıştır [12]. Bu özel kod, sadece metalik hedefler ve homojen ortamlar için EM saçılma kestirimlerini verir. Benzetimde, X-band monopol anten kullanılmış, yer ortamının dielektrik sabiti 4 olarak alınmıştır. Benzetimde, değişik derinliklere gömülü ve farklı boyutlara sahip, metal boru, mayın-benzeri silindirik nesne ve metal plaka kullanılmıştır. Bu üç nesnenin geri-saçılma EM sinyali, x ekseninde $x=0.25m$ 'den $x=1.25m$ 'ye toplam 64 ayrı noktalı yapay açıklık boyunca toplanmıştır. Ayrıca, her bir uzamsal noktada, frekans, $6.81 GHz$ 'den $9.14 GHz$ 'e 64 adımda değiştirilmiştir. Böylece 64×64 2-B uzamsal-frekans B-tarama geri-saçılma E-alan verisi toplanmıştır. Klasik uzamsal-derinlik YNR görüntüsü, Şekil 1(a)'daki gibi, 2-B verisinin 1-D IFT'si alınarak oluşturulmuştur. Nesnelere sınırlı referans olması amacıyla kırmızı çizgi ile çizilmiştir. Beklendiği gibi, görüntü, Bölüm 2'de açıklandığı üzere odaklanma etkileri göstermektedir. Önerilen metodun uygulanması sonucu, Şekil 1(b)'de görülen YNR görüntüsü elde edilmiştir. Bu görüntü iyi odaklanmıştır ve üç gömülü nesneden oluşan saçılma mekanizmasının gerçek yerlerinin kestirimlerini iyi biçimde vermektedir.

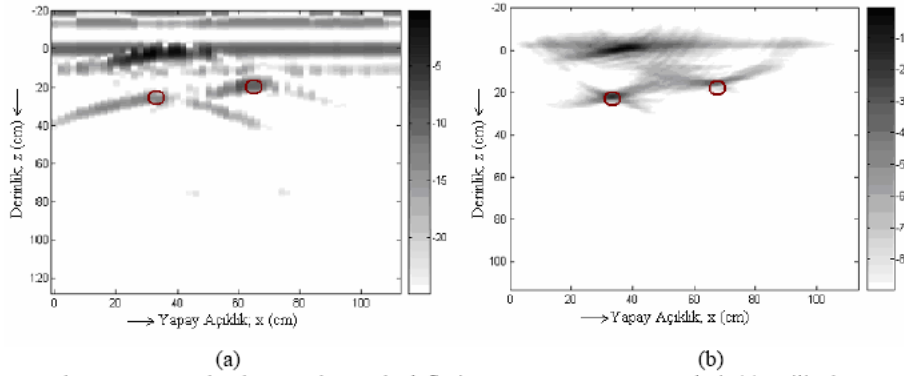


Şekil 1. Farklı derinliklere gömülü üç nesnenin nümerik olarak elde edilmiş B-tarama YNR görüntüleri :
(a) Orijinal görüntü (b) Uygulanan algoritma sonucu elde edilen odaklanmış görüntü.

b) Ölçüm Sonuçları :

Algoritmamızı uygulamak amacıyla, içi dielektrik sabiti X-band frekanslarında 2.4 civarında olan kuru kum malzeme ile doldurulmuş $190cm \times 100cm \times 80cm$ boyutlarındaki tahtadan imal edilmiş havuzun içine kesit çapı $4.75cm$, boyu $43cm$ olan metal boru ile içi su ile doldurulmuş ve kesit çapı $7cm$, boyu $16cm$ olan pet şişe yatay pozisyonda değişik derinliklere gömüldü. Daha sonra, monostatik konfigürasyonda X-band dikdörtgenel piramit boynuz anten ve Agilent ENA5071B Network Analizörü yardımıyla, $120cm$ yapay açıklık boyunca, geri saçılma verisi S_{11} toplanırken frekans da $4,8-8,5GHz$ arasında 201 nokta için değiştirildi. Şekil 2(a)'da, söz konusu nesnelere için YNR görüntüleme algoritması uygulayarak elde ettiğimiz 2-B orijinal B-tarama YNR görüntüsü görülmektedir.

Nesnelerin sınırları kırmızı çizgiler ile belirtilmiştir. Uyguladığımız algoritma sonucu elde ettiğimiz yeni YNR görüntüsü ise Şekil 2(b)'de verilmektedir. Şekil 2(b)'den de açıkça görüldüğü üzere, $z=0cm$ 'de kum üzerinden yansımının yanı sıra, $z=15cm$ 'deki su hedefin ve $z=20cm$ civarındaki metal hedefin görüntüleri odaklanmış olarak açık bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 2. Kum havuzuna gömülü olan metal ve su hedeflerin B-tarama YNR görüntüleri: (a) Orijinal görüntü (b) Uygulanan algoritma sonucu elde edilen odaklanmış görüntü.

4. Sonuç

Bu çalışmada, YNR görüntülerindeki odaklama probleminin çözümü için efektif ve hızlı bir dönüşüm metodu önerilmiştir. Algoritma ayrıntılı olarak açıklanmış ve metodun etkinliğini gösteren nümerik örnekler sunulmuştur.

Şekil 1'deki benzetim görüntülerinden de görüleceği üzere; önerdiğimiz metot, noktasal hedefler ve dairesel kesitli silindirik boru tipindeki nesnelerin B-tarama görüntülerini odaklamada çok etkilidir. Ancak, bir saçıcı mekanizması diğer bir güçlü saçılmanın hiperbolik eğrisi altında kalıyorsa, algoritmanın uygulanması sonucunda elde edilen odaklanmış YNR görüntüsünde, orijinal EM saçılma enerjisinden daha zayıf bir değer verebilmektedir. Bu durum Şekil 2'deki ölçüm verilerinin B-tarama görüntülerinden de açıkça seçilebilmektedir. Söz konusu durum, önerilen metodun dezavantajını göstermektedir.

5. Teşekkür: Bu çalışmayı, EEEAG-104E085 proje koduyla destekleyen TÜBİTAK'a, laboratuvar imkânlarını sağlayan Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne ve deneylerde kullanılan kum malzemesini hibe eden Mersin Trakya Cam Sanayi A.Ş.'ne teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- [1] Daniels, D. J., Gunton, D. J. ve Scott, H. F. "Introduction to subsurface radar". IEE Proc., vol.135, s.278-320, 1988.
- [2] Daniels, D. J., Surface-Penetrating Radar, London: IEE Press, 1996.
- [3] Peters, L. Jr., Daniels, D. J. ve Young, J. D. "Ground penetrating radar as a subsurface environmental sensing tool", Proc. IEEE, vol.82, no.12, s.1802-1822, 1994.
- [4] Vitebskiy, S., Carin, L., Ressler, M.A., ve Le, F. H. "Ultrawide-band, short pulse ground-penetrating radar: Simulation and measurement," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.35, s.762-772, 1997.
- [5] Halman, J. I., Shubert, K. A. ve Ruck, G. T. "SAR processing of ground-penetrating radar data for buried UXO detection: Results from a surface-based system," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.46, s.1023-1027, 1998.
- [6] Sullivan, A., Damarla, R., Geng, N., Dong Y., ve Carin, L. "Ultra wide-band synthetic aperture radar for detection of unexploded ordnance: modeling and measurements," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.48, s.1306-1315, 2000.
- [7] Ozdemir, C., Lim, S. ve Ling, H. "A synthetic aperture algorithm for ground-penetrating radar imaging," Microwave Opt Tech Letters, vol.42, s.412-414, 2004.
- [8] Claerbout, J. F., Imaging the Earth's interior: Blackwell Scientific Publications, Inc., 1985.
- [9] Gazdag, J. "Wave equation migration with the phase-shift method," Geophysics, vol. 43, s. 1342-1351, 1978.
- [10] Stolt, R. "Migration by Fourier transform," Geophysics, vol. 43, s. 23-48, 1978.
- [11] Leuschen, C. J., Plumb, R.G. "A matched-filter-based reverse-time migration algorithm for ground-penetrating radar data," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.39, s.929-936, 2001.
- [12] Ling, H., Chou, R., and Lee, S.W. "Shooting and bouncing rays: calculation the RCS of an arbitrary shaped cavity," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.37, s.194-205, 1989.