

Mikrodalga Görüntülemeye Sıkıştırılmış Algılama Yönteminin Kullanımına Yönelik Bir Analiz

An Analysis for the Use of Compressed Sensing Method in Microwave Imaging

Enes YİĞİT ve Mustafa TEKBAŞ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Karamanoğlu Mehmetbey Üniv.
Karaman, Türkiye
{enesyigit, mustafatekbas}@kmu.edu.tr

İlhami ÜNAL ve Sercan ERDOĞAN
Malzeme Enstitüsü, MİLTAL
TÜBİTAK MAM
Gebze, Kocaeli, Türkiye
ilhmi.unal@tubitak.gov.tr

Cafer ÇALIŞKAN
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Kadir Has Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
cafer.caliskan@khas.edu.tr

Özetçe— Mikrodalga görüntüleme yöntemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi, yüksek çözünürlük ve gerçek zamanlı takip arzulanığında ortaya çıkan yoğun veri işleme trafiğidir. Son yıllarda popüler olan sıkıştırılmış algılama (SA) yöntemi ile ölçüm verisinin rastgele seçilmiş bir alt kümesi ile radar sinyalleri veri kaybı olmadan geri çatlabilir. Bu nedenle bu çalışmada hareketli insan takibine yönelik olarak SA yönteminin kullanımı ve konum belirlemedeki kabiliyetleri araştırılmış ve Nyquist örnekleme kriterinin çok çok altında alınan verilerle hedef bilgisi doğru bir şekilde tespit edilmiştir. Bu çalışmada, SA'nın hedef tespiti ve takibine yönelik olarak geliştirilebileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler — sıkıştırılmış algılama; mikrodalga görüntüleme.

Abstract— One of the most important problems encountered in microwave imaging methods is intensive data processing traffic that occurs when high resolution and real time tracking is desired. Radar signals can be recovered without loss of data with a randomly selected subset of the measurement data by compression sensing (CS) method which has been popular in recent years. For this reason, in this study, the use and capabilities of the CS method were investigated for tracking moving human, and the target information was correctly determined for the data obtained much below the Nyquist sampling criterion. In this study, it was revealed that the CS method can be developed for target detection and tracking.

Keywords — compressed sensing, microwave imaging.

I. GİRİŞ

Sabit ve hareketli cisimlerin şekil, konum ve hız bilgisinin uzaktan tespit edilmesine yönelik kullanılan yöntemler arasında öne çıkan en popüler yöntemlerden birisi mikrodalga görüntülemedir. Belirli frekans bantlarında uyumlu antenlerle ile hedef bölgeye yönlendirilen elektromanyetik (EM) dalganın, hedeften geri saçılan yansımalarının işlenmesiyle hedef bilgisi elde edilmektedir. Sabit hedeflerin tespit edilmesi veya fiziksel özelliklerinin çıkartılması gibi küçük ölçekli uygulamalar radar anteninin belirli bir hat üzerinde hareket

ettirilmesi ve her bir sentetik açıklık noktasında toplanan verilerin işlenmesi sonucu elde edilebildiği için yüksek hızlı veri toplama ve pahalı mikrodalga radar donanımlarına ihtiyaç duymamaktadır [1,2]. Ancak milimetre dalga radar kullanılarak çok yüksek çözünürlükte görüntü elde edilmesi veya hareketli hedeflerin gerçek zamanlı olarak takip edilmesi gibi uygulamalarda, yüksek maliyetli çözümlere ihtiyaç duymaktadır. Zira iletilen sinyalin bant genişliğinin menzil çözünürlüğü ile doğru orantılı olması, veri toplama nokta sayısının da yanca çözünürlüğünü artırması nedeniyle bu tür uygulamalarda hem frekans bölgesinde hem de uzamsal bölgede toplanan büyük ölçekli verilerin sıkıştırılması gerekmektedir [3]. Diğer yandan sıkıştırılmış algılama (SA), geleneksel sıkıştır/aç metotların aksine olarak kolay ve uyumsuz sıkıştırma şeması sunmaktadır [4,5]. SA'nın temel mantığı, herhangi bir veride seyrek olarak gösterilebilen bir sinyalin normale göre çok daha az sayıda rastgele doğrusal izdüşümlerle oluşturulan ölçümleri kullanarak konveks optimizasyon teknikleriyle geri çatlmasıdır [6]. SA uygun bir sözlükteki seyreklik olarak modellenen veri içindeki fazlalığı kullanarak sinyalin sıkıştırılmış temsilini doğrudan elde etmektedir. Bant sınırlı bir sinyalin bilgi kaybı olmaksızın geri çatlabilmesi için en az bant genişliği hızında örnekleme gereksinimi klasik Nyquist örnekleme teoreminde geçerli olurken SA doğası gereği Nyquist örnekleme kriterinin çok çok altında örneklerle aynı sinyali yeniden çatabilmektedir. Bu sayede çok daha az veri kullanarak geri çatlama işlem süresi azaltılmaktadır [7].

Bu çalışmada insan benzeri hedeflerin hareketliliğinin 2 boyutlu koordinat sisteminde tespitine yönelik olarak SA yönteminin kullanımına yönelik olarak çalışmalar yapılmış ve 1 – 5 GHz bandında yapılan ölçümlerle kullanılan yöntemin performansı analiz edilmiştir. Bu çalışmanın ana başlıkları şu şekildedir: Bölüm 2 de, veri toplama geometrisi ve kullanılan yöntem özet olarak açıklanmıştır. 3. Bölüm'de deney düzeneği, radar ölçüm parametreleri ve ölçüm sonuçları verilirken son bölümde çalışmanın sonuçları özetlenmiştir.

II. VERİ TOPLAMA GEOMETRİSİ VE KULLANILAN YÖNTEM

Mikrodalga görüntüleme radar anteninden hedefe doğru olan doğrultu menzil olarak tanımlanırken, menzil yönüne dik olan doğrultu da azimut olarak isimlendirilmektedir [1]. Adım frekanslı sürekli dalga radar (AFSDR) sistemlerinde maksimum anlamlı (unambiguous) menzil Δz adım frekans sayısı ile doğru orantılı iken, menzil çözünürlüğü δ_z ise bant genişliğine bağlıdır [1].

$$\delta_z = \frac{c}{2B} \quad \& \quad \Delta z = N \cdot \delta_z \quad (1)$$

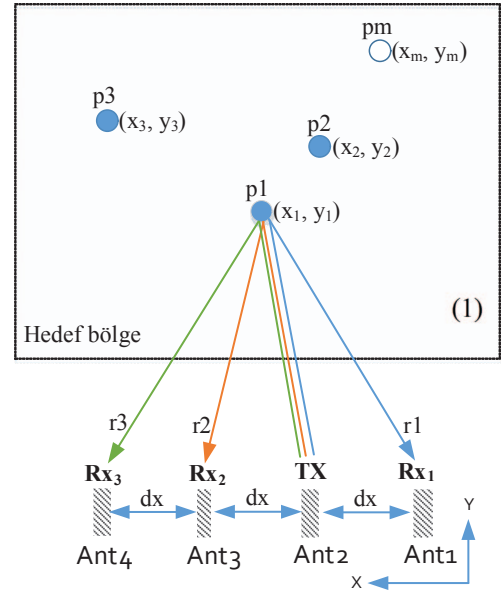
Burada c ışık hızı, B bant genişliği ve N adım frekans sayısıdır. Şekil 1'de belirli bölge içindeki noktasal hedeflerin ölçümünde kullanılan yöntemin geometrik yaklaşımı gösterilmiştir. Kartezyen koordinatlarda x ve y de konuşlandırılmış antenler tarafından EM aydınlatılan sahnenin yansıtılabilirlik fonksiyonu $\rho(x, y)$ olsun. AFSDR yöntemiyle geri saçılım frekansı N adımda toplanarak $1 \times N$ lik $S(k)$ eko sinyali üretilir. Aydınlatılan bölge $X \times Y$ piksel olarak ifade edilirse, belirli bir ölçüm noktasında alınan $S(k)$ eko sinyali şu şekilde ifade edilebilir.

$$S(k) = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y \rho(x, y) \exp(-ikr_a) \quad (2)$$

burada $k = 2\pi f/c$ olacak şekilde tek yönlü yayılım için tanımlanan dalga numarası, x_x, y_y ise aydınlatılan bölgedeki piksellerin koordinatları, $(\mathbf{t}_x, \mathbf{t}_y)$ ve $(\mathbf{r}_{x_a}, \mathbf{r}_{y_a})$ sırasıyla verici ve alıcı antenlerin Kartezyen koordinatları ve $f = 1, 2, \dots, N$ ise AFSDR tarafından üretilen frekans vektörüdür. (2)'deki r_a ise $a = 1, 2, 3$ olacak şekilde verici antenden aydınlatılan bölge $x \times y$ pikselleri ve alıcı antenler arasındaki mesafeyi veren ve aşağıdaki şekilde ifade edilen menzil matrisidir.

$$r_a = \sqrt{(\mathbf{t}_x - x_x)^2 + (\mathbf{t}_y - y_y)^2} + \sqrt{(x_x - \mathbf{r}_{x_a})^2 + (y_y - \mathbf{r}_{y_a})^2} \quad (3)$$

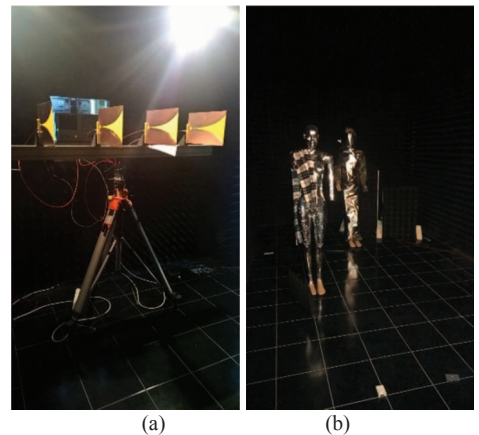
Hedef bölgedeki saçıcı mekanizmaya ait tek boyutlu menzil profili $s(r)$, eko sinyali $S(k)$ nin Ters Fourier dönüşümünün (TFD) alınmasıyla elde edilebilir. Ancak TFD bazı menzil profillerinden hedef konumunun ve yansıtılabilirlik bilgisinin net bir şekilde çıkartılması Şekil 4(a)'dan da anlaşıldığı üzere oldukça zordur. Bu nedenle, parazit yankılı ve düşük sinyal gürültü oranlı verilerde bile avantaj sağlayabilen ve düşük bant genişliğiyle yüksek çözünürlük sunabilen [7] SA tekniği bu çeşit problemlerin çözümüne yönelik olarak adapte edilebilir. Bu çalışmada 3 farklı konuma yerleştirilmiş alıcı antenlerden elde edilen sinyallerin SA tekniği ile geri çatımına yönelik olarak, ayrıntıları [8]'de verilen yöntem kullanılmış ve optimizasyon tekniği olarak da ortogonal uyuşum arama (OUA) (orthogonal matching pursuit) [9] kullanılmıştır.



Şekil 1. Anten dizisi ile mikrodalga algılama geometrisi

III. DENEYLER

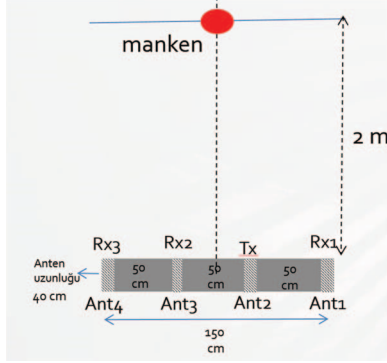
Bu çalışmadaki deneyler TÜBİTAK MAM MİLTAL Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Şekil 2(a)'deki 1-5 GHz bandında çalışan 4 adet Vivaldi anten dizisi kullanılmış ve Şekil 1'de görüldüğü gibi ikinci anten verici olarak ayarlanmış ve RF anahtarlama sistemi ile diğer 3 adet anten de alıcı olarak çalıştırılmıştır. VNA kullanılarak 1-5 GHz frekans bandı toplam 1601 adımda değiştirilmiş ve böylece (1)'e göre çözünürlük 3.75 cm ve maksimum anlamlı menzilde 60 m olarak hesaplanmıştır. Alıcı 3 anten tarafından elde edilen ham veriler TFD alınarak menzil profilleri elde edilmiş ve çizdirilmiştir. Daha sonra her bir ölçüm verisi ayrıntıları [8]'de verilen yöntem ile tekrar işlenmiş ve 1600 frekans verisinden rastgele seçilen 200 adet veri SA tekniği ile geri çatılarak sadece hedeflere ait yansıma verileri hassas bir şekilde elde edilmiştir. Daha sonra 3 farklı noktadan elde edilen veriler çözülerek hedeflere ait iki boyutlu konum bilgisi hassas bir şekilde bulunmuştur.



Şekil 2. (a) Vivaldi tipi anten dizisi, (b) insan maketleri

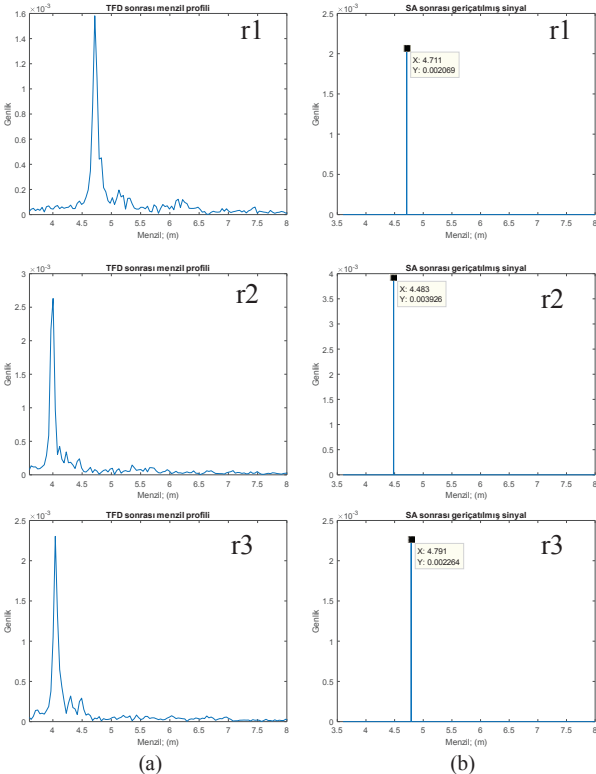
A. Deney 1

Geometrisi Şekil 3’de verilen tek bir manken, anten dizisinden 2 m uzağa konuşlandırılmış ve 3 adet alıcı anten tarafından geri saçılım sinyalleri toplanmıştır. Şekil 4(a)’da her bir alıcı anten tarafından elde edilen TFD sonuçları verilirken, Şekil 4(b)’de SA sonuçları verilmiştir.



Şekil 3. Birinci deney geometrisi ve deney anından bir sahne

Şekil 4(a)’daki sonuçlar incelendiğinde mankenin konum bilgisi genel itibariyle algılanıyor olsa da çok yan loblar ve hedef bölge etrafında oluşan diğer saçıcı mekanizma farklı hedef olma olasılığını uyandırmaktadır. Bu yüzden bu çeşit sinyaller kullanılarak hedefin iki boyutlu konumunun tam olarak tespit edilmesi mümkün olmamaktadır. Diğer yandan SA tekniği ile ise her bir antenden tek bir menzül bilgisi elde edilmiştir (Şekil 4(b)).



Şekil 4. Her bir alıcı anten tarafında elde edilen menzül profilleri (a) TFD tabanlı görüntüleme (b) SA tekniği ile % 12 lik veri kullanılarak geri çatlınan sinyal

Şekil 4’deki sonuçlar kullanarak hedefin iki boyuttaki konum bilgisine ulaşılabilir. Bunun için (3)’de verilen ifadeye, verici ve alıcı antenlerin konumları ve Şekil 4 (b)’de elde edilen r_a değerleri yazılarak denklemler çözülebilir. Basitlik olması için antenler $y=0$ eksenine konuşlandırılmış ve Şekil 3’de görüldüğü gibi Ant1 $x=0$ konumuna yerleştirilmiştir. Buna göre 3 farklı menzül bilgisi aşağıdaki şekilde eşitliğe yerleştirilmiştir.

$$4.711 = \sqrt{(0.5 - x_1)^2 + (0 - y_1)^2} + \sqrt{(x_1 - 0)^2 + (y_1 - 0)^2}$$

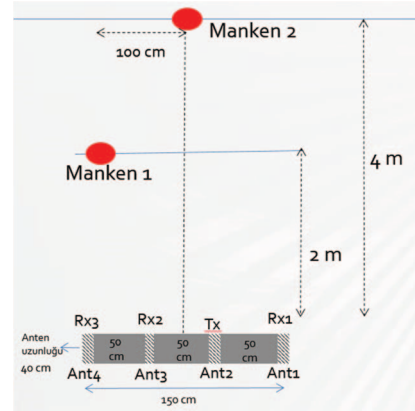
$$4.483 = \sqrt{(0.5 - x_1)^2 + (0 - y_1)^2} + \sqrt{(x_1 - 1)^2 + (y_1 - 0)^2}$$

$$4.79 = \sqrt{(0.5 - x_1)^2 + (0 - y_1)^2} + \sqrt{(x_1 - 1.5)^2 + (y_1 - 0)^2}$$

Bu üç eşitlik bilgisayar yardımı ile çözümlenince hedefin konumu $X=0.7$ m, $Y=2.28$ m olarak bulunur. X ekseninde 5 cm, Y ekseninde de 28 cm kayma ile hedef konumu tespit edilmiştir. Ancak deneyde kullanılan mankenin X ve Y eksenindeki boyutları düşünüldüğünde (50 cm x 25 cm) SA yönteminin oldukça başarılı sonuçlar ortaya koyduğu söylenebilir.

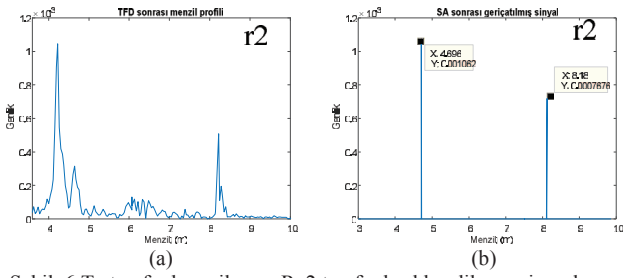
B. Deney 2

Bu deneyde, iki farklı manken iki farklı noktaya yerleştirilmiş ve bir önceki deneyde kullanılan ölçüm parametreleri tekrarlanmıştır. Deney geometrisi Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. İkinci deney geometrisi ve deney anından bir sahne

Şekil 5’de verilen geometri için yapılan ölçüm sonuçları ise Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6’da görüldüğü gibi her iki mankene ait geri saçılım bilgisi SA ile başarılı bir şekilde elde edilmiştir. 1. deneyde gösterilen yöntem ile her bir mankene ait üç farklı menzül mesafesi (3)’de yerine konularak denklemler çözülmüş ve her iki antenin de 2 boyutlu koordinatları tespit edilmiştir.



Şekil. 6. Tx tarafında verilen ve Rx2 tarafında elde edilen geri saçılım sinyaline ait menzil profilleri (a) TFD tabanlı görüntüleme (b) SA tekniği ile % 12 lik veri kullanılarak geri çatılan sinyal

Birinci manken için SA sonrası elde edilen $r1=5.092$ m, $r2=4.69$ m, $r3=4.917$ m menzil bilgileri çözüldüğü takdirde mankenin koordinatları $X=1.1042$ m, $Y=2.3647$ m olarak bulunur. Aynı şekilde ikinci manken için, $r1= 8.22$ m, $r2=8.18$ m, $r3=8.28$ m menzil bilgileri (3)'de yerine konduğu takdirde ikinci mankenin konum bilgileri, $X=0.72$ m, $Y=4.15$ m olarak bulunur.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada mikrodalga teknolojisi ile hedef tespitine yönelik olarak sıkıştırılmış algılama tekniğinin performansı değerlendirilmiştir. 1-5 GHz bandında yapılan ölçümlerde elde edilen TFD tabanlı menzil profillerinden hedeflere ait 2 boyutlu konum bilgisinin tespit edilmesi mümkün değilken, SA yöntemiyle kompleks menzil profili basite indirgenmiş ve sadece tek bir noktadan yansımalar elde edilerek konum matris eşitliğiyle hedeflerin lokasyonları tespit edilmiştir. Ayrıca SA doğası gereği Nyquist örnekleme kriterine ihtiyaç duymadığından, her bir anten için 1601 noktada ölçüm yapmak yerine sadece 200 farklı noktadan alınan ölçümlerle hedefler tespit edilmiştir. Bu sonuçlar SA tekniğinin, özellikle gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılabilirliğini ve daha az veri kümesiyle hızlı sonuçlar üretebileceğini göstermektedir. SA tekniği, mikrodalga ile meme kanseri tümörünün tespiti, toprak altı mayın görüntüleme, duvar arkasında gizlenmiş hareketli insanların görüntülenmesi gibi daha birçok uygulamada kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yiğit Enes, Demirci Şevket, Özdemir Caner, Tekbaş Mustafa, "Short-range ground-based synthetic aperture radar imaging: performance comparison between frequency-wavenumber migration and back-projection algorithms ", *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1), 73-83, 2013.
- [2] Yiğit Enes, Demirci Şevket, Ünal Atilla, Özdemir Caner, Vertiy Alexey, "Millimeter-wave Ground-based Synthetic Aperture Radar Imaging for Foreign Object Debris Detection: Experimental Studies at Short Ranges ", *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 33(12), 1227-1238, 2012.
- [3] Benz, K. Strodl, and A. Moreira, "A comparison of several algorithms for SAR raw data compression ", *IEEE Trans Geosci Remote Sens.*, 33, 1266-1276, 1995.
- [4] E.J. Candès, J. Romberg, and T. Tao., " Robust uncertainty principles: exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information ", *IEEE Transactions on Information Theory*, 52(2), 489-509, 2006.
- [5] D.L. Donoho., "Compressed sensing", *IEEE Transactions on Information Theory*, 52(4), 1289-1306, 2006.
- [6] Çağlayan F., Yılmaz A. Ö., " Radar target detection using compressive sensing ", *EMO Bilimsel Dergi*, 3(5), 115-121, 2013.

- [7] Yiğit E., " Compressed Sensing for Millimeter-wave Ground Based SAR/ISAR Imaging ", *Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Waves*, 35(11), 932-948, 2014.
- [8] Yiğit Enes, İşiker Hakan, Toktaş Abdurrahim, Saibun Tjuatja, Cs-Based Radar Measurement of Silos Level ", *IGARS*, 2015.
- [9] Donoho D. L., Tsaig Y., "Fast Solution of l1-norm Minimization Problems When the Solution May be Sparse", Technical report, Dept. of Statistics, Stanford University, 1-45, 2006.